XA
.R483

Per. 2
Vol. 61
1878

THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN
PRO SCIENTIA SALUTE POPULIQUE
1891

LIBRARY

September 1899 R. W. Gibson Invt

CONSERVATOIRE
BOTANIQUE
VILLE de GENÈVE

DUPLICATA DE LA BIBLIOTHÈQUE
DU CONSERVATOIRE BOTANIQUE DE GENEVE
VENDU EN 1912

# ARCHIVES

DES

# SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

CONSERVATOIRE
BOTANIQUE
VILLE DE GENÈVE

DUPLICATA DE LA BIBLIOTHÈQUE
DU CONSERVATOIRE BOTANIQUE DE GENEVE
VENDU EN 1922

Genève. — Imprimerie Ramboz et Schuchardt.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

# ARCHIVES

DES

# SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

NOUVELLE PÉRIODE

TOME SOIXANTE ET UNIÈME

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

CONSERVATOIRE
BOTANIQUE
VILLE de GENÈVE

GENÈVE
BUREAU DES ARCHIVES, RUE DE LA PÉLISSERIE, 18

LAUSANNE
GEORGES BRIDEL
Place de la Louve, 1

PARIS
SANDOZ et FISCHBACHER
Rue de Seine, 33

Dépôt pour l'ALLEMAGNE, H. GEORG, A BALE

1878

DUPLICATA DE LA BIBLIOTHÈQUE
DU CONSERVATOIRE BOTANIQUE DE GENÈVE
VENDU EN 1922

, R483
Per. 2
Vol. 61
1878

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

SUR L'EXISTENCE

DE

# RACES PHYSIOLOGIQUES DANS LES ESPÈCES VÉGÉTALES

A L'ÉTAT SPONTANÉ

PAR

**M. Alph. DE CANDOLLE.**

---

Les expériences que j'ai publiées en 1872, d'abord d'une manière abrégée dans le Bulletin de la Société botanique de France (vol. XIX, p. 177), ensuite *in extenso* [1] dans les Archives des Sciences physiques et naturelles (juin 1872), ont été reprises, sous une forme à peine différente, mais avec d'autres espèces végétales, par MM. Naudin et Radlkofer. Leur mémoire [2] a paru dans les Annales des Sciences naturelles au mois de juillet 1877. Je ne sais par quel hasard il ne contient aucune mention de mes recherches, quoique la méthode et le but soient semblables. Le rapprochement des résultats auxquels nous sommes arrivés, les uns et les autres, n'est cependant pas sans quelque intérêt, puisque la question des modifications de l'espèce par les climats est très-grave, et que les observations, encore peu nombreuses, sur des plantes spontanées, sont les seules d'où l'on puisse tirer des con-

[1] Tentatives d'expériences sur la question des modifications dans les espèces végétales à la suite d'un effet prolongé du climat.

[2] Recherches au sujet des influences que les changements de climat exercent sur les plantes.

AUG 7 - 1923

clusions [1]. Je vais donc réunir les deux séries d'expériences sous une forme abrégée, et après en avoir indiqué les résultats, j'ajouterai quelques réflexions sur la nature des diversités physiologiques dans les végétaux de forme semblable et sur l'état de la science dans les questions d'origine des diversités successives, soit de configuration, soit de végétation.

La méthode proposée et suivie par moi, en 1872, consiste à semer, dans une même localité, des graines de la même espèce, provenant de pays éloignés, et dont les prédécesseurs ont vécu, par conséquent, depuis des milliers d'années, sous des conditions différentes. J'avais choisi douze espèces répandues dans la plus grande partie de l'Europe, mais n'ayant pas de ces formes plus ou moins distinctes dont quelques auteurs font des espèces. Après avoir obtenu des graines de la plupart de ces plantes venant d'Édimbourg, Moscou, Montpellier et Palerme, je les avais semées le même jour à Genève. Malheureusement quelques-unes n'ont pas levé, et celles du *Sisymbrium officinale* ont montré, dans chaque lot d'origine différente, des diversités extraordinaires dans la forme ou la grosseur des graines et ensuite dans la manière de végéter [2],

[1] Il est bien démontré, par les publications de M. Witmack et de plusieurs autres agriculteurs, que les céréales du nord semées dans le midi, ou inversement, se comportent, par hérédité, d'une manière différente, mais dans toutes les espèces cultivées l'homme a exercé une sélection, volontaire ou involontaire, qui complique l'effet des causes naturelles.

[2] Cette diversité des graines et des jeunes plantes du *Sisymbrium officinale* fait présumer qu'il y a, dans quelques espèces, pour d'autres organes que les fleurs, des dimorphismes ou trimorphismes analogues à ce qu'on voit pour les organes floraux dans les plantes dioïques et dans les espèces sur lesquelles M. Darwin a fait ses observations bien connues.

de sorte que sur les douze espèces il en est resté seulement deux qui aient donné des résultats comparables.

### Senecio vulgaris.

La germination et la première végétation des semis de graines des quatre localités n'ont pas offert de différences sensibles, mais les capitules de fleurs se sont développés plus vite chez les individus originaires d'Édimbourg et de Moscou que chez ceux de Montpellier et surtout de Palerme.

Une seconde génération a été élevée dans le jardin botanique de Florence, au moyen des graines que j'avais envoyées à mon regrettable ami Philippe Parlatore. La levée a varié plus qu'à la première génération (Moscou le 5 octobre, Palerme le 22). En comptant du jour du semis ou du jour de la levée jusqu'à la floraison, les pieds originaires de Palerme ont toujours été les plus tardifs, mais ceux d'Édimbourg et de Moscou n'ont pas conservé la précocité de la première génération relativement aux individus originaires de Montpellier.

### Trifolium repens.

J'ai pu comparer des graines de deux origines seulement, Moscou et Palerme. Les premières ont levé 24 heures plus tard. Dès l'abord on remarqua des différences de végétation bien frappantes. « Les pieds de Palerme étaient vigoureux, élevés, à larges feuilles, tandis que ceux de Moscou étaient chétifs, bas et à feuilles moins développées. L'un de ces trèfles aurait pu être fauché, l'autre est resté aussi petit que s'il avait été piétiné au bord d'une route. » Les uns et les autres ont fleuri en même

temps. Un second semis des mêmes graines, fait le mois suivant, a donné presque les mêmes résultats. La diversité de stature, en particulier, a été aussi frappante. La floraison a été de deux jours plus tardive pour les pieds de Palerme.

Je passe aux observations de mes deux savants confrères.

M. Naudin a semé à Collioure (Basses-Pyrénées) huit espèces venant : 1° de la localité même ; 2° de Munich. Deux n'ont pas donné de résultats, par défaut de germination ou autre accident. Le *Solanum nigrum* n'a donné qu'un seul individu pour chaque lot, et le *Malva sylvestris* un seul pour Collioure; par conséquent il vaut mieux n'en pas parler. Le *Daucus Carota* (sauvage) n'a pas été observé jusqu'à la fin. Le *Capsella Bursa-pastoris* me paraît devoir être éliminé, parce que les formes de cette plante sont nombreuses et ont été considérées par plusieurs botanistes comme des espèces différentes. Toutes ces défalcations faites, il reste deux espèces, qui ont donné les résultats suivants [1].

### *A Collioure.*

#### Calendula arvensis.

Germination presque semblable dans les deux lots. Développement ultérieur chétif pour les pieds originaires de Collioure, rapide et vigoureux pour ceux de Munich. Floraison simultanée; maturation également. Les plantes originaires de Munich avaient, avant la floraison, un poids septuple de celui des plantes originaires de Collioure.

[1] Je supprime les dates qu'on peut trouver dans le mémoire de MM. Naudin et Radlkofer.

### Sonchus oleraceus.

Les graines de Munich semées à Collioure lèvent un mois plus tard que celles de Collioure. Les premières donnent des individus inégaux, assez vigoureux ; les secondes des individus inégaux et chétifs. La floraison de ces dernières est un peu plus tardive. Le poids, au moment de la floraison, a été de moitié inférieur à celui des individus originaires de Collioure.

## *A Munich.*

La contre-partie de ces expériences a été faite par M. Radlkofer, à Munich, sous des conditions de température et d'humidité très-différentes. En éliminant trois espèces qui n'ont pas levé dans les deux lots à la fois, on a pu faire les comparaisons suivantes.

### Calendula arvensis.

Germination presque simultanée pour les graines de Munich et de Collioure. Développement semblable jusqu'à la floraison. Les pieds originaires de Collioure ont fleuri deux jours plus tôt que les autres. Fin de la végétation semblable.

### Sonchus oleraceus.

Les graines de Collioure germent deux ou trois jours plus tôt. Elles donnent des individus qui grandissent davantage. Avant la floraison ils ont une taille deux fois plus forte que ceux des graines de Munich. La floraison est de trois jours plus hâtive. La végétation est arrêtée, dans les deux lots, par la gelée.

Ainsi, comme pour le *Calendula*, l'expérience faite à Munich, sur les mêmes graines qu'à Collioure, n'a pas donné exactement les mêmes différences. C'est assez singulier, puisque, à Collioure et à Munich, les graines des deux origines étaient soumises aux mêmes conditions, autant du moins qu'on pouvait le supposer.

Les espèces suivantes, qui n'avaient pas réussi à Collioure, ont donné des termes de comparaison à Munich.

### Solanum nigrum.

Les graines de Collioure ont levé beaucoup plus tôt (17 jours de différence) que celles de Munich. Mais la floraison a été presque simultanée (un jour plus tard seulement). Les premières graines ont mûri sept jours plus tard dans le lot de Collioure que dans celui de Munich.

### Daucus Carota (sauvage).

Les graines de Collioure ont levé deux jours plus tard. Leurs individus se sont développés plus lentement. Ils ont commencé à fleurir beaucoup plus tard (21 jours), mais alors ils ont grandi notablement, et ont dépassé, de presque moitié, la taille des individus originaires de Munich.

En définitive, nos expériences réunies portent sur six espèces seulement, preuve bien évidente des difficultés que nous avons rencontrées dans le choix des plantes et dans les détails d'une culture qui soit vraiment comparative. Après avoir proposé la méthode, j'ai observé, d'une manière fructueuse, deux espèces, dont une pendant deux générations successives. MM. Naudin et Radlkofer ont ensuite observé, d'une manière fructueuse, quatre espèces, pendant une seule génération, mais avec cette supériorité

que deux des espèces ont été suivies à la fois à Munich et à Collioure.

Les résultats ont été si variés qu'il est nécessaire de les présenter sous la forme d'un tableau comparatif [1].

| | Germin. des pieds du | | Croissance des pieds du | | Florais. des pieds du | | Maturité des pieds du | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nord | Midi | Nord | Midi | Nord | Midi | Nord | Midi |
| Senecio vulgaris, 1re génération . . . | = | = | = | = | h. | | | |
| Id. 2me » . . . | h. | — | = | = | h. | | | |
| Trifolium repens, 1er semis . . . . . | | h'. | | vig. | = | = | | |
| Id. 2me » . . . . . | = | = | | vig. | h. | | | |
| Calendula arvensis, à Collioure . . | = | = | vig. | | = | = | | |
| Id. à Munich . . . . | = | = | = | = | | h. | | |
| Sonchus oleraceus, à Collioure . . | | h. | vig. | | h'. | | | |
| Id. à Munich . . . . | | h. | | vig. | | h. | | |
| Solanum nigrum . . . . . | | h. | | | = | = | h. | |
| Daucus Carota . . . . . | h. | | vig. | | h. | | | |

La germination et la floraison sont les phénomènes dans lesquels il s'est présenté le moins souvent des différences suivant l'origine des graines. La croissance n'a été bien différente, d'une manière suffisamment constatée, que dans une espèce, le *Trifolium repens*. Les *Senecio* originaires du nord ont fleuri plus tôt que ceux originaires du midi. Pour d'autres phénomènes et les autres espèces, en général, les faits sont obscurs ou contradictoires.

Malgré ces obscurités et ces contradictions, il est visible :

1° *Que des graines d'une même espèce venant de pays éloignés, semées les unes à côté des autres, sous les mêmes influences, ne donnent pas des individus qui végètent d'une manière absolument semblable.*

[1] Le signe = indique la simultanéité des phénomènes dans les deux lots, *h* veut dire : plus hâtif, *h'* médiocrement plus hâtif, *vig.* : vigoureux.

2° *Que dans certaines espèces, malgré la similitude des formes extérieures, la diversité de végétation suivant les origines est plus caractérisée que dans les autres.*

D'après une des espèces (*Senecio*), les diversités de végétation paraissent héréditaires, au moins pour les individus originaires de deux des localités. Il serait bon que les faits fussent étudiés pendant plusieurs générations, quoique l'on sache de nos jours que les diversités, même individuelles et de faible importance, sont plus ou moins héréditaires [1].

Au premier abord on est tenté d'attribuer ces diversités à une influence prolongée des climats sur les ascendants des individus observés. Cependant il faudrait savoir si des graines de plusieurs espèces étant recueillies dans un même pays et semées les unes à côté des autres, leurs produits ne présenteraient pas quelquefois des diversités analogues de végétation. Les influences de sol, de croisements antérieurs, de luttes plus ou moins actives contre d'autres espèces, etc., paraissent, d'après les observations de M. Darwin, pouvoir déterminer aussi et conserver des modifications héréditaires [2]. En tout cas les

[1] Les formes héréditaires assez voisines pour pouvoir se féconder mutuellement et donner des produits fertiles sont ce que Linné a appelé *espèces*. M. Jordan les nomme *espèces affines*. Dans ce moment même je reçois le rapport très-intéressant fait à la Société botanique de France, dans la session de Lyon, sur les cultures du savant Lyonnais, rapport dont je me propose de parler dans le Bulletin des *Archives*.

[2] Lorsqu'une espèce n'a pas eu de concurrents sérieux dans un pays, depuis un grand nombre de générations, elle doit avoir des individus moins vigoureux, toutes choses d'ailleurs égales. D'après les expériences relatées dans l'ouvrage récent *Cross and self-fertilization*, il y a des diversités de force dans les lignées (stock) d'une même espèce, en raison des antécédents de parenté.

faits devraient être constatés au moyen d'observations plus variées et plus prolongées que les nôtres, et les explications, toujours un peu hypothétiques, viendraient peut-être ultérieurement.

Les diversités selon l'origine des graines qui ressortent de nos expériences, accusent des modes divers de développement, sans offrir des formes nouvelles spécifiques ou seulement des variétés. Ce sont des modifications de la nature de celles qu'on désigne comme physiologiques. Il ne faut cependant pas se payer de mots. Tout phénomène doit avoir une cause [1]. Si la végétation est plus hâtive ou plus vigoureuse chez certains individus d'une espèce que chez d'autres soumis aux mêmes influences, il faut qu'il y ait dans l'organisation quelque chose de différent qu'on ne connaît pas, car une même cause ne peut pas produire des effets différents, à moins qu'elle ne s'applique à des corps d'une nature plus ou moins dissemblable. Ainsi, lorsque la chaleur, la lumière, les gaz, etc., produisent sur des plantes de même forme extérieure, cultivées les unes à côté des autres, des effets différents, il est nécessaire d'admettre que ces agents pénètrent d'une manière différente, se propagent dans les tissus d'une manière différente, se transforment d'une manière différente, etc., ce qui suppose des diversités matérielles d'organisation qui nous échappent. Les formes visibles et connues, soit extérieures, soit intérieures, motivent nos classifications ordinaires; les formes invisibles au microscope à cause de leur petitesse extrême, et celles qu'on pourrait voir, mais qu'on n'a pas observées jusqu'à

[1] On dit ordinairement : « tout effet a une cause, » mais comme le mot effet suppose par lui-même une cause, l'expression est un pléonasme presque aussi inutile que si l'on disait : un effet est un effet.

présent, motivent des diversités de végétation et ces « groupes physiologiques » dont je me suis occupé naguère[1], qui reposent sur les effets connus de causes organiques encore inconnues.

Après avoir ainsi rapproché la nature des diversités physiologiques de celle des diversités de formes, il n'est pas superflu de constater que la science en est au même point sur les origines primitives ou successives de ces deux catégories. La naissance d'une modification physiologique est aussi obscure que celle d'une modification morphologique. Les causes déterminantes sont dans les deux cas très-difficiles à indiquer avec probabilité, et bien plus encore à démontrer d'une manière directe et positive. Il faut en convenir, dans la chaîne des êtres organisés qui se succèdent, l'amplitude des diversités de toute nature, leurs dates, leurs causes surtout, sont d'une obscurité singulière. On comprend que la sélection agit nécessairement dans le sens d'exclure ou de conserver les modifications qui surviennent, mais cela n'explique pas l'origine de celles-ci.

Pour ce qui concerne les diversités physiologiques, une seule chose est positive, c'est qu'elles se sont succédé dans la série des temps. On ne peut nier, en effet, par des raisons soit astronomiques, soit physiques, le fait que la terre a été plus chaude à des époques anciennes pendant lesquelles il existait déjà des végétaux. Comme une plante, et surtout une plante d'une organisation compliquée, suppose une autre plante antérieure, il est clair que les espèces de nos régions froides ont eu des ancêtres vivant

[1] Constitution dans le règne végétal de groupes physiologiques applicables à la géographie botanique ancienne et moderne. *Archives des Sc. phys. et nat.*, mai 1874, et 2me édition dans la *Revue scientifique*, 1875.

sous des températures élevées qu'elles ne supportent pas aujourd'hui.

C'est exactement ce qu'on peut dire de la succession des formes. Elles ont varié d'âge en âge. Ceci n'est pas une théorie, c'est un fait qui se prouve, dans tous les pays, par la comparaison des fossiles. Mais, la succession des formes démontrée, le mode d'évolution et ses causes sont encore dans le domaine des probabilités et des hypothèses. Aussi quand je veux me représenter tel ou tel naturaliste moderne traduit devant une réunion de mathématiciens, de physiciens, de chimistes, etc., pour donner des preuves positives et directes de la transformation d'espèces végétales ou animales, assurément j'estime qu'il serait embarrassé. D'autres naturalistes, fidèles à d'anciennes idées, lui feraient une foule d'objections de détail, et le malheureux se verrait peut-être obligé d'avouer qu'il a des indices, mais pas de preuves absolument directes. Après cet aveu il pourrait cependant réfléchir à la succession incontestable des flores et des faunes dans toutes les parties de la terre, et alors il lui serait bien permis de dire à ses juges, en parlant de l'espèce :

« E pur si muove. »

---

# MÉMOIRE

SUR LA

# LIQUÉFACTION DE L'OXYGÈNE

## LA LIQUÉFACTION ET LA SOLIDIFICATION DE L'HYDROGÈNE

ET SUR

## LES THÉORIES DES CHANGEMENTS D'ÉTAT DES CORPS

PAR

M. RAOUL PICTET

---

Afin de rendre la lecture de ce mémoire plus facile, nous l'avons partagé en six chapitres traitant chacun un sujet spécial de cette étude.

Le chapitre I^er^ est consacré aux *considérations générales*. Nous y développons le but de ce mémoire et les lois physiques relatives au changement d'état des corps.

Le chapitre II contient la *Description des appareils employés*.

Le chapitre III relate les *expériences* elles-mêmes.

Le chapitre IV est affecté aux calculs pour la réduction des observations. Détermination de la densité de l'oxygène liquide, des températures minima et des tensions maxima des vapeurs de l'oxygène liquide.

Le chapitre V est consacré à l'*hydrogène*.

Le chapitre VI donne les conclusions que l'on peut tirer de ces expériences et de ces résultats.

## I

### *Considérations générales.*

Tous les phénomènes de la chaleur ont été révélés primitivement à l'homme par l'intermédiaire du sens du toucher.

L'impression de froid et de chaud née de la modalité particulière des sensations tactiles a été tout d'abord attribuée à un fluide spécial le *flogistique,* ou *la chaleur* répandu dans tous les corps à un degré différent. Cette théorie, admise pendant tant de siècles, était le pendant des hypothèses alors en vogue sur la lumière et devait, presque forcément, découler de l'esprit plutôt analytique qui guidait la science à cette époque.

Mais peu à peu plusieurs catégories de phénomènes furent rangées dans le chapitre de la chaleur, bien que le sens du toucher fût complétement exclu de l'étude de ces manifestations calorifiques. La *calor imétrie* prit naissance, ainsi que l'étude du changement d'état des corps. Le nom de *chaleur latente* ou *insensible* est encore resté dans la littérature scientifique et précise bien cette phase particulière par laquelle a passé l'esprit humain.

La route nouvelle, ouverte aux investigations, ne tarda pas à faire apparaître un champ tellement fertile en découvertes de toutes espèces qu'on peut affirmer que toutes les connaissances humaines en ont profité.

La théorie mécanique de la chaleur, qui en est sortie de toute pièce, est une œuvre immense, où la philosophie, autant que la physique et la chimie, ont trouvé une abondante moisson de faits, d'explications, de rapprochements qui ont éclairé d'une vive lumière le chaos dans lequel tâtonnaient les chercheurs d'autrefois.

Cette grandiose découverte consiste à supprimer complétement le *flogistique* ou la chaleur en elle-même et à la remplacer par le mouvement des particules constituantes des corps. L'étude de la chaleur est devenue l'étude du mouvement; mouvements intimes d'atomes, de molécules invisibles, que le microscope ne saurait distinguer, mais que l'on prouve aujourd'hui et démontre d'une manière aussi saisissante que si on les voyait directement.

Le terrain de la lutte s'est ainsi complétement déplacé et l'étude de la *constitution des corps* est devenue une condition essentielle de l'étude de la chaleur. Ces deux chapitres sont inséparables et doivent se traiter ensemble.

La *théorie des gaz,* telle qu'elle a été admirablement développée par M. Clausius, est un des résultats les plus remarquables et les plus directs de ce progrès scientifique.

Le but que nous poursuivons dans ce mémoire est de nous servir de la théorie mécanique de la chaleur, devenue classique aujourd'hui, pour expliquer quelques phénomènes anomaux ou semblant tels, qui paraissent plus ou moins contradictoires, soit avec les lois générales de la physique, soit avec la théorie de M. Clausius, et de les ramener par la méthode expérimentale à des phénomènes de même nature ne créant aucune exception aux lois précitées.

Afin d'établir la question d'une manière bien précise, nous allons décrire en quelques mots les phénomènes que nous visons.

Presque tous les corps connus sont susceptibles de passer par les trois états: gazeux, liquide et solide.

Pour un même corps, ces trois états exigent des températures différentes: l'état solide correspond à la tem-

pérature la plus basse, l'état liquide, à une température plus élevée et l'état gazeux à une température supérieure encore.

On admet en conséquence que les particules constituantes des corps, appelées molécules et atomes s'attirent, entre elles et tendent à se rapprocher, mais qu'une force opposée résiste à cette tendance et lutte contre cette attraction. Cette force serait le *mouvement calorifique*, et ce mouvement est en rapport avec la *température*.

Cette loi générale implique l'idée que tous les corps *sans exception* sont constitués d'une manière analogue et que toutes les particules constituantes sont soumises aux forces de la *cohésion* et du mouvement de la chaleur.

On peut déduire de là que, si la chaleur diminue de plus en plus dans un corps gazeux, la cohésion moléculaire l'amènera forcément à l'état liquide et solide ; sans quoi l'hypothèse de la généralité de la loi serait fausse.

M. Regnault, dans ses mémorables expériences sur la compressibilité des gaz, a mis en lumière un point important : toutes les vapeurs comprimées lorsqu'elles arrivent près du point de leur liquéfaction *se compriment davantage* que ne l'indique la loi de Mariotte et de Gay-Lussac, loi qui s'applique à un gaz idéal absolument parfait.

Ce résultat montre évidemment que les forces moléculaires, soit la cohésion, s'ajoutent à la pression pour rapprocher encore les molécules libres qui pénètrent dans leur sphère d'attraction et vont se précipiter en gouttelettes liquides.

Toutes les vapeurs des liquides connus, depuis les vapeurs de mercure, celles de l'eau, de l'alcool, de l'acide sulfureux, de l'acide carbonique, subissent la même in-

fluence; toutes, elles se compriment plus que ne le ferait un gaz parfait.

Seuls, les gaz, *appelés permanents*, échappent à cette altération spéciale *aux vapeurs*, nommées ainsi par opposition aux gaz parfaits.

Ils éprouvent même une altération inverse sous l'action de fortes pressions, c'est-à-dire qu'ils se compriment *moins* que ne le voudrait la loi de Mariotte et de Gay-Lussac.

M. Regnault a montré que l'hydrogène en particulier se comprime passablement moins que l'azote et l'oxygène; les deux derniers gaz suivent presqu'absolument la loi de Mariotte avec des écarts extrêmement faibles pour des pressions de 30 et 50 atmosphères.

Si l'on appelle *covolume* d'une vapeur la différence que l'on observe entre son volume, sous une pression et une température données, et le volume qu'elle devrait occuper si la loi de Mariotte et de Gay-Lussac était rigoureusement exacte, on trouve que le covolume des vapeurs est toujours *positif*, tandis que celui des gaz permanents est presque nul ou négatif.

En se basant sur ces résultats et admettant la théorie de M. Clausius sur la constitution des gaz et des vapeurs, on est appelé à reconnaître que certaines molécules, bien que rapprochées considérablement les unes des autres, tendent plutôt à se *repousser* qu'à *s'attirer*, puisque la pression augmente plus vite que le calcul ne l'indique, dans l'hypothèse où la cohésion serait nulle.

Pour une différence de volume de moitié, c'est-à-dire en comprimant une masse gazeuse dont le volume est 1 et la réduisant à un volume égal à $\frac{1}{2}$, pour les gaz permanents la pression a plus que doublé, pour les vapeurs elle reste inférieure au double de la pression initiale.

Il est évident que ces résultats sont un puissant argument en faveur de la non-généralité de *la cohésion*, qui ne serait qu'une force accidentelle ou spéciale à certains corps et pourrait même être remplacée dans quelques cas par une force répulsive et opposée.

M. Natterer, professeur de physique à Vienne, a voulu déterminer expérimentalement jusqu'où l'on peut comprimer les gaz appelés permanents et quelle est, au point de vue des volumes, l'influence de colossales pressions pouvant atteindre presque 3000 atmosphères. Il espérait obtenir par l'intermédiaire de cette puissance gigantesque un changement d'état à cause du rapprochement considérable des molécules gazeuses.

Si la cohésion des molécules gazeuses eût été tant soit peu appréciable, il est certain à première vue que ce changement d'état devait s'opérer.

Voici quelques chiffres obtenus par M. Natterer dans ses expériences faites en 1854 à la suite des observations recueillies par M. Regnault.

*Hydrogène, Oxygène et Azote.* M. Natterer a comprimé l'hydrogène, l'oxygène et l'azote de la pression atmosphérique jusqu'à une pression de 2790 atmosphères. Il réglait ses observations de la manière suivante :

Dans le même espace clos, il introduisait progressivement des volumes égaux d'hydrogène, par exemple 10 volumes égaux au volume initial. Un manomètre spécial, et très-sensible, indiquait la pression correspondante.

Dans le tableau suivant la première colonne indique les volumes de gaz comprimés dans le volume primitif, la seconde colonne donne les pressions observées en atmosphères, et la troisième les différences de ces pressions.

| Hydrogène | | | Oxygène | | | Azote | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volum. | Atmosph. | Diff. | Volum. | Atmosph. | Diff. | Volum. | Atmosph. | Diff. |
| 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 8 | 8 | | 7 | 7 | | 5 | 5 | |
| 18 | 18 | 10 | 17 | 17 | 10 | 15 | 15 | 10 |
| 28 | 28 | | 27 | 27 | | 25 | 25 | |
| 68 | 68 | 10 | 157 | 157 | 10 | 75 | 75 | 10 |
| 78 | 78 | | 167 | 167 | | 85 | 85 | |
| 128 | 134 | 12 | 227 | 232 | 11 | 225 | 240 | 12 |
| 138 | 146 | | 237 | 243 | | 235 | 252 | |
| 238 | 274 | 13 | 277 | 287 | 11 | 275 | 306 | 15 |
| 248 | 287 | | 287 | 298 | | 285 | 321 | |
| 358 | 438 | 16 | 357 | 382 | 12 | 355 | 444 | 22 |
| 368 | 454 | | 367 | 494 | | 365 | 466 | |
| 418 | 539 | 17 | 417 | 463 | 16 | 415 | 600 | 30 |
| 428 | 556 | | 427 | 479 | | 425 | 630 | |
| 458 | 608 | 19 | 457 | 539 | 24 | 455 | 729 | 35 |
| 468 | 627 | | 467 | 563 | | 465 | 764 | |
| 488 | 665 | 20 | 487 | 614 | 27 | 485 | 840 | 42 |
| 498 | 685 | | 497 | 641 | | 495 | 882 | |
| 538 | 775 | 24 | 537 | 764 | 36 | 535 | 1095 | 64 |
| 548 | 799 | | 547 | 800 | | 545 | 1159 | |
| 598 | 930 | 28 | 597 | 1010 | 46 | 595 | 1546 | 94 |
| 608 | 958 | | 607 | 1056 | | 605 | 1640 | |
| 668 | 1134 | 30 | 647 | 1284 | 70 | 645 | 2046 | 110 |
| 678 | 1164 | | 657 | 1354 | | 655 | 2156 | |
| 758 | 1434 | 37 | | | | 675 | 2394 | 128 |
| 768 | 1471 | | | | | 685 | 2522 | |
| 828 | 1701 | 40 | | | | 695 | 2654 | 136 |
| 838 | 1741 | | | | | 705 | 2790 | |
| 878 | 1904 | 44 | | | | | | |
| 888 | 1948 | | | | | | | |
| 908 | 2044 | 54 | | | | | | |
| 918 | 2098 | | | | | | | |
| 948 | 2277 | 70 | | | | | | |
| 958 | 2347 | | | | | | | |
| 978 | 2505 | 89 | | | | | | |
| 988 | 2594 | | | | | | | |
| 998 | 2689 | 101 | | | | | | |
| 1008 | 2790 | | | | | | | |

Nous mettons en regard les trois gaz observés; l'oxygène ne monte que jusqu'à une pression de 1354 atmosphères, limites supérieures obtenues pour ce corps.

Le tableau précédent prouve d'une manière évidente que la loi de Mariotte est absolument fausse dès que l'on dépasse une pression de 100 atmosphères, cela pour les trois gaz étudiés.

Pour les pressions relativement modérées c'est l'oxygène qui suit le plus exactement la loi de Mariotte, mieux que l'hydrogène. Par contre, aux pressions supérieures les écarts s'accentuent très-nettement, et lorsque l'on a comprimé 657 volumes d'oxygène, la pression qui devrait théoriquement être de 657 atmosphères est égale à 1354 atmosphères, c'est-à-dire plus que double.

Dans les mêmes conditions, l'hydrogène présente une pression de 1104 atmosphères et l'azote 2156. On voit par ces chiffres que les molécules gazeuses doivent *se repousser* avec une énergie considérable, puisque 10 volumes d'oxygène amènent une augmentation de 70 atmosphères et de 110 pour l'azote.

Ces résultats traduits par une courbe dont les abscisses représentent les volumes comprimés et les ordonnées les pressions correspondantes, indiquent une tendance manifeste vers une limite de compressibilité qu'il n'est pas possible de dépasser. Cette limite correspond au point où la courbe devient asymptotique à l'ordonnée verticale. Alors, pour une très-petite augmentation dans la quantité de gaz introduite dans le volume primitif la pression augmente d'une quantité infinie.

C'est ce qui doit arriver probablement quand on a amené, par le seul fait de la compression, les molécules du gaz au contact absolu. Les espaces intermoléculaires

devenant nuls, toute diminution de volume est impossible à cause de l'*impénétrabilité* de la matière.

Ces considérations, appuyées sur des faits irrécusables, semblent donc infirmer d'une façon sérieuse la *généralité de la cohésion.*

Il semblerait d'après ces expériences, ainsi que l'explique M. Clausius, que la cohésion moléculaire pour tous les gaz permanents serait nulle et que les écarts de la loi de Mariotte, tels que nous venons de les exposer, auraient pour cause essentielle le *volume matériel des molécules et des atomes, leur épaisseur ou leur diamètre.*

Dans les vapeurs au contraire, la cohésion exercerait de suite son action, même sous de faibles pressions, ce qui motiverait l'écart en sens inverse que l'on observe en comparant les vapeurs et les gaz permanents.

Ce sont essentiellement ces phénomènes et ces explications, basées sur les expériences de MM. Regnault et Natterer, et la théorie de M. Clausius, que nous désirons étudier plus à fond, et cela en nous servant d'un travail précédent relatif aux rapports qui existent entre les différentes propriétés physiques et chimiques des liquides volatils [1].

Nous avons démontré dans le travail dont il s'agit, que, pour *une même température, la cohésion de tous les liquides est la même ;* c'est-à-dire que les forces moléculaires qui lient entre eux deux atomes ou deux molécules d'un liquide quelconque, ont une puissance égale lorsque la température est la même pour tous les liquides.

On peut exprimer ce théorème de cette manière : si l'on prend tous les liquides volatils à une même tempé-

[1] *Archives des Sciences phys. et nat.*, Janvier 1876, t. LV, p. 66.

rature et que l'on calcule le travail dépensé pour arracher de ce liquide à cette température un atome $\alpha$ et le rendre libre de la cohésion qui le retient, le travail dépensé sera identiquement le même pour tous les liquides sans exception.

Cette loi prouve que l'état liquide ne se manifeste pas indistinctement quelle que soit la puissance de la cohésion, il faut que cette cohésion représente une certaine puissance K agissant à une distance $l$ entre deux molécules, de telle sorte que le travail de condensation ou de volatilisation corresponde pour une température t à cette quantité constante. Sans cette condition essentielle, *la liquéfaction ne saurait être obtenue.*

La seule force connue, qui lutte directement contre la cohésion, c'est la chaleur. On admet qu'elle donne aux éléments constitutifs des corps des mouvements d'oscillation pendulaire, dont l'amplitude est une fonction de la température.

Une foule de considérations, tirées essentiellement des variations dans les chaleurs latentes internes, telles qu'elles sont fournies par les tables de M. Regnault, des lois qui unissent les tensions des vapeurs avec la température, des lois de la dilatation, etc., etc., me font émettre l'hypothèse que la température est directement proportionnelle, suivant une fonction simple, de l'*amplitude* du mouvement calorifique.

Lorsque l'on prendrait comme mesure une fraction très-petite du millimètre, analogue à celle dont on se sert pour mesurer les ondulations lumineuses, on trouverait qu'une oscillation double correspond à une température absolue double; une oscillation triple comme longueur donnerait une température trois fois plus élevée.

Le zéro absolu correspondrait à la longueur d'oscillation nulle, comme un pendule qui serait arrêté.

Cette définition de la température s'accorde avec celle que nous avons donnée précédemment[1]: elle consiste à dire que la température d'un corps est absolument définie quand on connaît le *potentiel dynamique* d'un corps entre une température $t'$ quelconque, prise comme point de départ, et une température $t$ variable, mais toujours exprimée par l'équation dynamique où elle entre.

Le calcul des tensions de la vapeur d'eau basé sur cette théorie, s'accorde à 1 millimètre près pour toutes les températures comprises entre 200° et 0°. Nous pensons donc pouvoir donner comme très-probable cette expression de la température et nous la considérons comme la mesure *de l'amplitude du mouvement calorifique.*

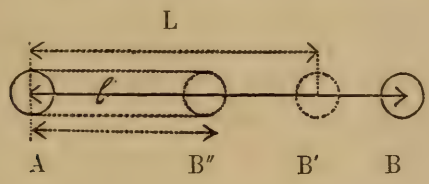
Est-ce à dire que, lorsque l'on a un corps à $t°$, tous les éléments de ce corps, sans exception, vibrent de telle sorte que les amplitudes soient *toutes rigoureusement égales?* Nullement. Au contraire même, certaines vibrations interfèrent entre elles et produisent, tantôt des vibrations plus longues, tantôt des vibrations plus courtes. La température du corps correspond à la moyenne de tous ces mouvements élémentaires et donne la résultante dynamique des travaux partiels qui constituent la provision de force accumulée dans ce corps; provision que nous appelons son *potentiel.*

Cette manière d'envisager l'action de la chaleur peut se démontrer expérimentalement par les changements d'état des liquides en vapeur et réciproquement.

[1] Société de physique et d'histoire naturelle de Genève. Séance du jeudi, 20 décembre 1877.

En effet prenons une vapeur quelconque sous une pression P et une température *t*.

Dans ces conditions, l'intervalle intra-moléculaire qui sépare les molécules libres de la vapeur est inversement proportionnel au nombre de ces molécules. Pour un nombre double, l'intervalle sera devenu moitié.




Appelons K la puissance constante pour tous les liquides qui doit représenter l'énergie de la cohésion à la température *t* et appelons *l* la longueur de l'oscillation calorifique correspondant à la température *t*.

Le dessin ci-joint représente deux molécules de cette vapeur prises à la pression P et à la température *t*. La distance des molécules A et B est AB et l'on peut faire varier cette distance à volonté en augmentant la pression du gaz.

Appelons L *la distance minimum* à laquelle la cohésion agit avec assez d'énergie pour passer par la valeur K et soit AB″ égal à *l* la longueur d'oscillation calorifique correspondant à la température *t*. Nous pouvons suivre pas à pas tous les phénomènes qui vont se passer :

Il est évident, dans ce premier cas, que tant que la pression P maintient les molécules A et B à une distance AB *la cohésion ne pourra pas amener la liquéfaction*, car sa puissance est inférieure à K limite nécessaire. Par conséquent on pourra comprimer les vapeurs et introduire

dans le même volume une nouvelle quantité d'éléments gazeux.

Lorsque la pression sera arrivée à une valeur P′, la distance AB sera réduite à la longueur AB′. A ce moment précis la cohésion étant devenue égale à K, la molécule B se précipitera sur la molécule A et formera une molécule de liquide.

Les deux molécules dans ce rapprochement développeront beaucoup de chaleur, puisque la première oscillation sera égale à AB′ et que quelques instants plus tard elle sera réduite à AB″. La force vive perdue et cédée aux parois du réservoir représente la *chaleur latente de condensation,* c'est le travail de la cohésion entre les limites AB′ et AB″.

Les variations de volume du gaz et du liquide condensé permettent de déterminer le rapport des longueurs $\frac{AB'}{AB''}$

Ce changement de volume est considérable pour les liquides de volatilité moyenne.

Par ce moyen, et par le simple jeu de la loi de Mariotte et de la cohésion moléculaire, nous nous rendons très-bien compte de la manière dont se passe la liquéfaction d'une vapeur.

Il faut commencer par rapprocher les molécules jusqu'à une certaine limite où la cohésion est suffisante, puis dès cet instant, la température supposée constante, la pression l'est aussi, quelle que soit du reste la quantité de vapeur que l'on introduise dans le même espace. La pression P′ sera maximum. La chaleur latente dégagée est fonction des longueurs AB′ et AB″ et du nombre de molécules qui se condensent, elle l'est par conséquent

aussi de la valeur de K correspondant à la température de condensation $t°$.

Si l'on envisage successivement dans les mêmes conditions toutes les vapeurs connues, on doit trouver l'explication de tous les phénomènes correspondant aux changements d'état gazeux en liquide.

Faisons cet examen en choisissant les liquides dans leur ordre de volatilité.

On peut d'avance reconnaître que la puissance avec laquelle deux molécules s'attirent est variable suivant la nature du corps.

Plus un liquide sera fixe, plus son point d'ébullition sera élevé sur l'échelle thermométrique, plus la cohésion réunit avec force ses particules constituantes.

Aussi on en conclut, que la distance à laquelle les molécules de ce corps s'attireront à une température $t$, sera plus grande que la distance correspondant, dans les mêmes conditions, à deux molécules d'un liquide plus volatil.

Prenons comme exemple l'eau et l'éther sulfurique et comprimons leurs vapeurs à une température de 30°. La distance AB′ pour l'eau sera plus grande que pour l'éther, par conséquent, d'après la loi de Mariotte, la pression de la vapeur d'eau sera plus faible que celle qui correspond aux vapeurs d'éther.

Le rapport des pressions sera exactement proportionnel au pouvoir volatil.

La longueur AB′ correspond à 31,548 millimètres de mercure pour l'eau et à 634,80 pour l'éther.

Pour les deux liquides, la pression n'est pas la même. Par contre la longueur des oscillations calorifiques AB″ sera égale pour les deux liquides après la condensation.

La chaleur latente dégagée dans ces deux cas sera donc uniquement proportionnelle aux nombres de molécules qui se seront combinées par la cohésion en liquide, à une constante K spéciale à la température *t*, et à la fonction qui lie l'accroissement de la puissance de la cohésion par rapport aux distances qui séparent les molécules A et B.

En comparant successivement l'eau à l'éther sulfurique, à l'acide sulfureux, à l'ammoniaque, à l'acide carbonique, on voit que la distance AB′ à laquelle s'opère la condensation, diminue de plus en plus à mesure que l'on choisit un liquide plus volatil ; à 0° l'eau se condense sous une pression de 4 millim., l'acide sulfureux exige 1165 millim., l'éther méthylique 1879, enfin l'acide carbonique réclame près de 30 atmosphères.

Il est évident que plus on choisit des vapeurs rebelles à la condensation, moins il y a d'écart entre le volume du liquide condensé et celui des vapeurs. Cette remarque est importante, car elle prouve que le seul élément variable est la puissance de la cohésion suivant la nature intime des vapeurs.

Nous voyons par tout ce qui précède que dans la condensation de deux molécules gazeuses A et B il faut réaliser deux conditions :

1° Rapprocher suffisamment ces molécules pour que la distance AB′ à laquelle on les amène corresponde à une attraction minimum égale à K.

2° Il est *nécessaire et indispensable* que la distance AB′ soit plus grande que AB″ longueur d'oscillation de la température.

En effet si l'attraction des molécules gazeuses est faible et que pour une température *t* la longueur d'oscillation *l*

correspondant à la température soit plus grande que la distance à laquelle on doit rapprocher les deux molécules pour que la puissance de la cohésion soit K, la *liquéfaction devient impossible, puisqu'à cette température* t *l'écart minimum est trop grand pour permettre le changement d'état.*

Cette seconde condition explique entièrement tous les phénomènes qui se rapportent aux gaz appelés permanents. Il ne suffit pas, pour condenser ces gaz, de leur faire subir d'énormes pressions, il faut amener la longueur d'oscillation calorifique à devenir inférieure à AB′ et pour cela il faut abaisser leur température, il faut ôter la chaleur, réduire les mouvements calorifiques au minimum. Alors AB″ étant très-petit, aussi petit que possible, on peut espérer que la distance AB′ à laquelle la cohésion passe par la valeur K sera plus grande que AB″. *Dans ce cas seulement,* la liquéfaction s'obtiendra.

Jusqu'à présent, on croyait que la *pression* et la *température* étaient ainsi liées ensemble que l'on *pouvait toujours remplacer l'une par l'autre.* C'est vrai dans de certaines limites que nous avons définies par cette explication.

Presque tous les liquides volatils permettent d'établir la table des tensions de leurs vapeurs saturées; ces tables indiquent le rapport qui existe entre l'augmentation de la pression P et la température *t.* Mais ces tables sont absolument impossibles à donner pour des valeurs de *t* très-élevées et l'expérience a prouvé que, pour une certaine température *t,* le liquide passe spontanément en vapeur sans changer de volume. A partir de ce point, la liquéfaction des vapeurs ainsi formées devient impossible.

Pour l'eau, cette température est intermédiaire entre

400 et 500 degrés. Pour l'éther elle est plus basse, pour l'acide sulfureux elle n'atteint pas 250°. Pour l'acide carbonique et le protoxyde d'azote, elle est encore moins élevée ; enfin pour les gaz permanents l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, ce point est inférieur à la température ambiante.

Cette explication permet donc de considérer comme générale la loi de la cohésion et elle montre qu'il est indispensable pour liquéfier ces gaz de se servir des deux moyens indiqués :

*Obtenir de fortes pressions ;*

*Obtenir un très-grand froid.*

Ces deux moyens sont nécessaires, doivent s'employer simultanément et ne peuvent se remplacer par aucun expédient.

La méthode analytique qui nous a conduit à ce résultat permet de nombreuses applications. Toutes les lois qui régissent les variations des chaleurs latentes internes, externes, les tensions des vapeurs volatiles, les chaleurs spécifiques, les mélanges des liquides volatils, les mélanges de gaz et de vapeurs, en un mot toute la calorimétrie et la thermo-dynamique se résument dans le problème de physique que nous venons d'exposer.

Toutes ces applications trouveront leur place dans un mémoire spécial que nous préparons. Ici nous voulons seulement démontrer expérimentalement que les déductions précédentes se rapportant aux gaz permanents sont exactes.

## II

### *Description des appareils.*

Dans le chapitre précédent nous avons établi l'antagonisme apparent qui existe entre les vapeurs et les gaz permanents, antagonisme reposant surtout sur les anomalies de la loi de Mariotte et l'impossibilité de liquéfier ces gaz malgré des pressions fantastiques.

La théorie nous a conduit à reconnaître la nécessité de modifier l'état des gaz permanents de deux manières : les soumettre à des pressions de plus en plus énergiques et abaisser leur température aussi bas que possible.

Nous allons maintenant décrire les moyens mécaniques que nous avons choisis pour atteindre ce double but.

Avant d'arrêter un dispositif en vue d'un résultat bien défini, il faut poser toutes les conditions requises pour assurer une marche régulière, pour éliminer les alea, l'imprévu, qui viennent trop souvent à la traverse, voiler la netteté des phénomènes à observer et introduisent des éléments perturbateurs qui gênent l'exactitude des observations.

Pour arriver à liquéfier les gaz permanents nous trouvons cinq conditions essentielles que le dispositif mécanique doit remplir. Elles sont toutes basées sur les résultats connus relatifs à la liquéfaction des autres vapeurs. Ce sont :

1° Agir sur un gaz *absolument pur*, sans aucune trace de gaz étranger.

2° Disposer d'une compression méthodique de ce gaz, pouvoir atteindre des pressions énergiques, et pouvoir mesurer ces pressions exactement.

3° Avoir à sa disposition les températures les plus basses possibles et pouvoir les maintenir indéfiniment tout en soustrayant de la chaleur à ces basses températures.

4° Disposer d'une grande surface de condensation maintenue à ces basses températures.

5° Pouvoir utiliser la détente des gaz de la pression considérable à la pression atmosphérique, détente qui, s'ajoutant aux moyens précédents, *oblige* la liquéfaction.

Ces cinq conditions sont aussi importantes l'une que l'autre. Si l'on avait un gaz impur, la liquéfaction se rapporterait peut-être au gaz étranger; les lois des pressions rapportées aux températures sont perturbées par la présence de gaz étrangers dans le gaz que l'on étudie ; il faut donc absolument travailler sur un gaz chimiquement pur. Comme pression une limite de 800 atmosphères nous a paru suffisante pour une première série d'expériences. Nous nous servons d'un manomètre métallique exécuté exprès dans ce but chez M. Bourdon et gradué avec le plus grand soin au moyen de pressions hydrauliques mesurées à la balance. Sans être absolument parfait, cet appareil présente assez d'exactitude pour que l'on connaisse une pression à 1 ou 2 atmosphères près, ce qui est suffisant.

Tout le système de la production des basses températures fera le sujet de la description ci-après; c'est la partie mécanique la plus dispendieuse et la plus délicate. Il faut disposer d'une grande surface de condensation pour les gaz comprimés, car la plupart des expériences entreprises précédemment dans ce but ont échoué faute d'avoir pris assez de précautions de ce côté-là.

Une surface donnée ne condense qu'un poids défini de

vapeurs. Si cette surface est exiguë, si les parois sont mauvaises conductrices de la chaleur, le phénomène de la condensation sera excessivement ralenti. C'est pour cette raison que nous ne voulons pas nous servir de tubes épais en verre et que nous donnerons un grand développement au tube de métal destiné à opérer la condensation du gaz. Enfin, dans le cas où la pression obtenue jointe à l'influence de la température ne suffirait pas pour amener la liquéfaction à l'*état statique*, on peut la contraindre par la détente du gaz.

Supposons en effet que le gaz soit comprimé à 500 atmosphères de pression et soit maintenu à —100°. Dans ces conditions, il serait encore gazeux. Si nous le détendons de la pression 500 atmosphères à la pression atmosphérique, cette détente produira un travail considérable. Ce travail sera fourni au détriment de la température du gaz, mais cet abaissement de température pourra être tel que le gaz perde toute trace de chaleur et qu'une partie de ce gaz passe par le 0 absolu, ce point particulier où la vibration calorifique est nulle. Dans ce cas évidemment *la cohésion, si elle est une force générale,* amènera l'état liquide et même solide du corps étudié.

Pour appuyer cette déduction sur des chiffres plus précis, nous dirons que 1 kilogramme d'oxygène par le travail de détente produirait 49,664 kilogrammètres, tandis que la chaleur totale représentée par un kilogramme d'oxygène de —100° au 0 absolu n'est que de 37,9 calories qui, transformées en travail ne font que 16,334 kilogrammètres.

Ce résultat montre donc que la détente complète ne sera *pas possible*; mais un gaz a comme caractère distinctif une détente illimitée, donc ce caractère devant se

perdre pendant le mouvement, une partie du gaz se condensera et passera à l'état liquide ou solide. Si ce changement n'avait pas lieu, une partie du gaz deviendrait une poussière inerte et alors la cohésion ne serait point une loi générale de la nature.

C'est donc un critère absolu et définitif. La détente des gaz comprimés servira de preuve irrécusable.

Voilà les principales conditions qui nous ont guidé dans la disposition mécanique que nous avons adoptée pour la liquéfaction des gaz permanents.

Nous allons maintenant décrire sommairement les appareils eux-mêmes :

Ils se divisent en trois parties distinctes :

1° Une circulation d'acide sulfureux servant à produire une première chute de température.

2° Une circulation d'acide carbonique ou de protoxyde d'azote servant à amener une seconde chute de température.

3° La production de l'oxygène en vase clos mis en communication avec l'acide carbonique solidifié, par un long tube mince complétement noyé dans cet acide carbonique.

La planche I représente l'ensemble du dispositif en élévation et en plan.

C'est dans un corps de bâtiment appartenant à la Société genevoise de construction d'instruments de physique que ces appareils ont été disposés.

M. Th. Turrettini, le directeur de cette société, a bien voulu m'autoriser à me servir de ses locaux et de sa machine à vapeur pour faciliter mes recherches et mes expériences.

Je profite de cette occasion pour lui en témoigner ma sincère reconnaissance ainsi qu'à la société qu'il dirige. Tous les instruments qui m'ont servi ont été construits dans ces ateliers et c'est uniquement grâce à leur perfection que nous avons obtenu des résultats précis sans aucun accident quelconque.

La figure I représente en élévation l'ensemble des appareils. On voit d'abord deux grandes caisses U et V que le plan de la figure coupe par la partie médiane.

Dans la caisse supérieure U se trouve un grand tube de cuivre R ayant 12 centimètres de diamètre et $1^{m},10$ de longueur.

Ce tube traverse la caisse de part en part dans une position légèrement inclinée. La différence de niveau entre les deux extrémités est de 12 centimètres.

C'est dans ce tube que l'on introduit de l'acide sulfureux liquide par le tube *z* aboutissant à la partie inférieure de ce réservoir sur la génératrice supérieure du cylindre. Lorsque l'acide sulfureux s'est accumulé dans ce récipient de telle manière que le niveau du liquide touche l'orifice du tube *z*, la surface de ce liquide est *maximum*, car elle s'étend d'un bout à l'autre du tube sur la plus grande section.

Un robinet *r*, ayant une section de 20 millimètres de diamètre, est placé sur la partie supérieure du grand tube contenant l'acide sulfureux. Ce robinet fait face au tuyau d'entrée du liquide placé à l'autre extrémité.

Un long tube de 25 millimètres de diamètre réunit ce robinet *r* avec l'aspiration d'une première pompe P.

Si l'on met cette pompe en action par l'intermédiaire d'une transmission mécanique, elle produira un vide considérable sur l'acide sulfureux contenu dans le tube R.

Aussitôt la volatilisation de l'acide sulfureux sera excitée et la température de ce liquide s'abaissera promptement. Elle deviendra d'autant plus basse que le vide sera plus parfait.

Dans les laboratoires de physique on se sert généralement de pompes pneumatiques pour faire le vide ; ces appareils délicats ne pouvaient convenir à ces sortes d'expériences qui demandent une continuité de marche de bien des heures et la soustraction d'une énorme quantité de chaleur ; d'un autre côté les pompes ordinaires ne donnent pas un rendement très-bon et ne permettent pas facilement d'obtenir un vide complet. J'ai tourné la difficulté en accouplant deux pompes industrielles semblables à celles qui nous servent dans nos appareils à glace, et associées de telle sorte que l'aspiration de la seconde pompe P′ (fig. 2) corresponde à la compression de la première P.

Grâce à cette disposition, les espaces nuisibles de la première pompe, les fuites latérales du piston, les petites imperfections mécaniques inhérentes à des instruments de grande taille et industriels, sont complétement supprimés et l'aspiration devient aussi énergique que celle de la meilleure machine pneumatique.

Quelques chiffres suffiront pour démontrer la remarquable puissance de cet accouplement.

Avec une excellente machine pneumatique faisant le vide à $^1/_2$ millimètre et ayant des cylindres de 750 centimètres cubes, j'ai fait le vide sur un flacon contenant de l'acide sulfureux liquide. Le poids du flacon et de l'acide était de 320 grammes. Le flacon était entouré de chiffons et de déchets de coton pour éviter le rayonnement extérieur de la chaleur et la conductibilité.

Après avoir pompé sans arrêt plus de trois quarts d'heure, étant quatre pour nous relayer, la température marquée par un thermomètre étalon à alcool n'était que de —54°. Vingt minutes plus tard elle ne fut que de —55°, et il nous fut impossible de la faire baisser davantage.

Avec les deux pompes accouplées ainsi que nous l'avons décrit, la température du tube R relevée par le même thermomètre à alcool, indique —30° après 4 minutes de marche, —45° après 10 minutes, et enfin descend progressivement jusqu'à —73°, la limite la plus basse que nous ayons pu atteindre.

Le thermomètre à alcool se glisse dans un petit manchon en cuivre dont la bouche ouvre contre le flanc du grand réservoir R. L'autre extrémité est fermée et tout le tube est noyé dans l'acide sulfureux liquide. On verse dans ce manchon un peu d'alcool absolu qui établit un contact entre les parois du tube et le thermomètre.

Les pompes P et P′ sont en fonte, elles sont construites sur le système de M. le prof. Daniel Colladon appliqué aux compresseurs à air. La tige du piston est creuse et l'on entretient une circulation d'eau qui permet au presse-étoupe de se conserver longtemps sans subir l'action nuisible de l'élévation de température qu'il est presqu'impossible d'éviter sans cet artifice. La garniture du presse-étoupe est composée de deux parties séparées par un anneau métallique. Cet anneau fait l'office de chambre et sert à éviter les rentrées d'air. Voici comment : La seconde pompe P′ comprime l'acide sulfureux jusqu'à une pression de 1 à 2 atmosphères dans un condenseur C. Ce condenseur est en cuivre et affecte la forme d'une chaudière tubulaire.

Un courant d'eau ordinaire traverse les tubes de ce

condenseur et enlève la chaleur fournie par le changement d'état.

Puisque la pression produite par la seconde pompe à la compression dépasse la pression atmosphérique, il suffit de réunir par un tube l'anneau métallique logé dans les deux garnitures des deux pompes P et P′ avec la canalisation qui joint la pompe P′ au condenseur C. Ainsi on ne s'expose en aucune façon à des rentrées d'air dans l'appareil. Cet accident, s'il avait lieu, paralyserait immédiatement la marche des pompes, car la pression des gaz dans le condenseur C irait constamment en croissant et dépasserait rapidement les limites admises.

Cette précaution uniquement du domaine de la pratique, est absolument indispensable pour assurer un fonctionnement de quelque durée.

Le volume de la pompe P est de 3 litres par cylindrée, ce qui explique la rapidité avec laquelle la température descend dans le tube R dès le commencement de la mise en marche.

Les soupapes des pompes P et P′ ont été faites avec un soin tout particulier. Elles sont en acier et le siége des clapets est en bronze. Un rodage prolongé permet une parfaite herméticité.

Les ressorts à l'aspiration sont très-doux et suffisent seulement à faire plaquer la soupape.

La vitesse des pompes varie entre 80 et 100 tours par minute.

L'acide sulfureux qui s'évapore dans le tube R, grâce à la grande surface libre du liquide, passe dans le robinet *r*, se rend dans la première pompe, de là dans la seconde, puis dans le condenseur. Là les vapeurs se condensent, repassent à l'état liquide et gagnent la partie in-

férieure du condenseur. J'ai placé dans cet endroit l'ouverture du tube *z* qui relie le condenseur au tube R. Un robinet de réglage à vis *q* permet de donner à la section de l'ouverture la grandeur voulue pour que le poids du liquide qui s'écoule sous l'influence de la différence de pression entre le condenseur et le tube R, soit rigoureusement égal à celui des vapeurs aspirées pendant le même temps.

Comme ce poids est extrêmement faible, qu'il représente seulement quelques grammes par minute, il suffit d'entr'ouvrir légèrement le robinet *q*, en donnant à la clef un dixième de tour tout au plus.

De cette manière, le niveau du liquide dans le tube R reste constant.

Le cycle d'acide sulfureux est complet et la chute de température obtenue dans le grand tube R est constamment maintenue par le travail mécanique des pompes P et P'.

Cette première circulation d'acide sulfureux n'est *qu'un expédient* pour obtenir de l'acide carbonique ou du protoxyde d'azote à l'état liquide en quantités assez considérables.

Si l'on voulait condenser par des pompes ordinaires de l'acide carbonique ou du protoxyde d'azote, il faudrait pouvoir comprimer ces gaz sous des pressions dépassant 30 à 40 atmosphères, même en utilisant pour la condensation de l'eau très-froide.

Ces pressions sont irréalisables sur une grande échelle, on ne peut les obtenir qu'au moyen de pompes spéciales dont le débit est fort limité et qui ne peuvent nullement résister à une marche continue.

Par contre, si nous condensons l'acide carbonique à

une température de —65°, la pression s'abaisse à 4 ou à 6 atmosphères seulement, pression très-facile à obtenir au moyen de pompes semblables à P et P'.

Dans ce but j'ai logé au milieu du tube R un second tube de diamètre moindre ayant $1^m,15$ de longueur sur 6 centimètres de diamètre.

Ce tube, représenté en S, est conséquemment baigné dans l'acide sulfureux qui l'enveloppe de toutes parts, et il participe à cette basse température de —65°. Ce tube S sert de condenseur à l'acide carbonique que l'on y comprime par l'action de deux pompes O et O' en tout semblables aux pompes P et P' et semblablement disposées.

L'acide carbonique est fabriqué avec beaucoup de soins dans deux grands bocaux en verre pleins de fragments de marbre de Carrare sur lesquels on laisse agir de l'acide chlorhydrique introduit progressivement. Le gaz qui se dégage est lavé, puis desséché par un grand appareil plein de chlorure de calcium. De là on l'enmagasine dans un gazomètre à huile G (fig. 1 et 2) ayant 1 mètre cube de capacité.

Un tuyau *c* relie le gazomètre avec un robinet à trois voies K (fig. 2).

Au commencement de l'opération, on tourne ce robinet K de telle sorte que le gazomètre G soit mis en communication avec l'aspiration de la pompe O par l'intermédiaire des tubes *c* et *c'*.

Les pompes O et O' ne sont mises en mouvement que lorsque la température inférieure est déjà obtenue dans le tube R par le jeu des pompes P et P'.

Immédiatement la condensation de l'acide carbonique s'obtient dans le tube S sous une pression indiquée au

manomètre *m*. Elle est variable suivant la quantité de gaz qu'on admet dans les pompes O et O′, mais en général elle reste comprise entre 4 et 7 atmosphères. La température de l'acide sulfureux se relève toujours un peu dès que les pompes O et O′ se mettent en activité.

Ce résultat est naturel, puisque l'acide carbonique qui se liquéfie cède toute sa chaleur latente de liquéfaction à l'acide sulfureux. La température monte ainsi jusqu'à —50°. Dès qu'on ralentit la condensation de l'acide carbonique, cette température redescend aussitôt en oscillant constamment entre —50° et —65°.

Tout le gaz contenu dans le gazomètre est aspiré par les pompes O et O′ et comprimé dans le tube S où il se liquéfie facilement. On peut ainsi en accumuler plus de 2 kilogrammes en un quart d'heure.

Une fois l'acide carbonique liquide obtenu, il ne reste plus qu'à l'utiliser pour la condensation de l'oxygène.

Les appareils spéciaux établis dans ce but se trouvent dans la longue caisse V située juste au-dessous de la première.

Cette caisse contient, comme la caisse U, deux tubes en cuivre ; seulement leurs dimensions sont notablement différentes.

Un premier tube extérieur au second a exactement $3^m,70$ de long sur 35 millimètres de diamètre extérieur. Il est légèrement incliné vers le sol, mais dans le sens opposé aux tubes R et S.

Dans les figures 1 et 2 il est désigné par la lettre D. Ce tube correspond au réservoir d'acide carbonique liquide par le tuyau *t*.

Un robinet de réglage *p* à vis, tout à fait semblable au robinet de réglage de l'acide sulfureux, permet d'ouvrir

ou de fermer la canalisation et de régler exactement la valeur de l'orifice de passage.

J'ai disposé l'entrée de l'acide carbonique liquide vers le milieu du long tube P pour la raison que j'indiquerai plus loin.

Une seconde bride *f* (fig. 2) placée dans la partie supérieure de D permet d'ajuster un tuyau *c''* qui, partant de *f*, établit la communication entre le robinet à trois voies K et le sommet du tube D.

Ces dispositions une fois connues, voyons comment la *seconde circulation* fonctionne.

On commence par soutirer le gaz du gazomètre préalablement rempli. Lorsque tout le gaz est liquéfié dans le condenseur S, on ouvre le robinet de réglage *p*. L'acide carbonique liquide passe dans le tube *t* et abaisse instantanément la température de toute la canalisation.

Les premières gouttes qui tombent dans le long tube D rencontrant un métal à la température ambiante, s'évaporent rapidement. Les vapeurs produites retournent se condenser dans le condenseur S.

Une seconde quantité de liquide descend de nouveau dans le tube dès que l'équilibre de pression est rétabli et amène un plus grand abaissement de température des parois de D.

Ainsi progressivement, l'acide carbonique descend du tube supérieur S dans le tube inférieur D. Il commence par s'accumuler dans la partie la plus basse ; puis le niveau s'élève progressivement jusqu'à la partie supérieure voisine de la bride *f*.

Pendant cette opération de remplissage, on est parfaitement renseigné sur ce qui se passe, par le jeu du manomètre *m* indiquant la pression dans le condenseur S.

Chaque fois qu'une certaine quantité d'acide carbonique liquide descend dans le tube D encore chaud, relativement à la température très-basse de l'acide carbonique, on voit une brusque élévation de 2 ou 3 atmosphères, au manomètre *m*.

Cette augmentation de pression disparaît promptement, puisqu'elle n'est produite que par le reflux de l'acide gazeux, lequel se condense de nouveau pour redescendre une seconde fois dans le collecteur D.

Lorsque le calme du manomètre *m* indique que tout le tube a pris la température correspondant à celle de l'acide sulfureux en R, c'est-à-dire environ —60° à —65°, on tourne le robinet à trois voies K, de telle sorte que le gazomètre soit isolé et que l'aspiration de la pompe O s'adresse par l'intermédiaire des tubes *c* et *c''* à la partie supérieure du tube D.

On doit mettre à cette opération une grande précaution, car si l'on ouvrait brusquement ce robinet, le liquide contenu dans le tube D se mettrait spontanément en ébullition, bien que la température soit si basse, et une bonne partie de ce liquide s'engagerait dans la canalisation et dans les pompes. Là, la température élevée développerait une telle quantité de vapeurs que la surface du condenseur S serait tout à fait insuffisante pour la modérer. La pression atteindrait 30 ou 40 atmosphères en quelques secondes et l'on aurait certainement un accident à déplorer.

C'est donc peu à peu que cette communication doit s'établir pour diminuer progressivement et lentement la pression qui contient l'acide carbonique liquide.

On laisse quelques minutes encore ouvert le robinet de réglage *p*. afin d'être sûr que tout l'acide carbonique li-

quide est bien descendu dans le collecteur D. La différence de pression que procure le jeu des pompes amène infailliblement ce résultat.

On ferme le robinet de réglage *p*, dès qu'un givre intense blanchit toute la canalisation $c''c$, signe certain que tout le tube D est plein de liquide.

A ce moment commence un nouvel et considérable abaissement de température.

Le vide se fait sur l'acide carbonique liquide et le froid devient si intense que cet acide se solidifie.

*Mesure des températures.* — Il est impossible de se servir de thermomètres à alcool pour estimer les températures aussi basses. La contraction et la dilatation de ce liquide ne donne plus aucune garantie sérieuse.

Je me suis servi, pour la mesure de ces températures, de la formule suivante que j'ai déduite directement de la théorie mécanique de la chaleur appliquée aux changements d'états :

$$l\left(\frac{P'}{P}\right) = \frac{[\lambda' + (c-k)(t'-t)]\ 431 \times 1{,}293\,\delta \times 274(t'-t)}{10333\,[(274+t')^2 - (274+t')(t'-t)]}$$

Dans cette formule $l\left(\frac{P'}{P}\right)$ représente le logarithme népérien du quotient des tensions à saturation aux températures $t'$ et $t$.

$t'$ est une température fixe prise comme point de départ 0° ou 100° si possible, ou une température intermédiaire donnée par un thermomètre étalon.

$t$ est la température à déterminer.

P est la tension observée au manomètre à mercure lorsque le vide est produit. Cette tension correspond à la température $t$.

$P'$ est la tension des vapeurs à la température $t'$ elle est donnée par les tables de M. Regnault.

$\lambda'$ est la chaleur latente de volatilisation à la température $t'$.

$c$ est la chaleur spécifique du liquide, moyenne entre $t'$ et $t$.

$k$ est la chaleur spécifique des vapeurs à pression constante.

$\delta$ est la densité des vapeurs par rapport à l'air, densité légèrement variable suivant la pression P et dont on a l'estimation exacte par la loi des covolumes fournie par M. Regnault.

En donnant à $t$ des valeurs successives de 10 degrés en 10 degrés inférieures à $t'$, on trace la courbe des tensions maxima correspondant aux températures, et c'est cette courbe qui permet des observations de températures très-exactes et rapides.

Ce n'est pas ici la place de démontrer cette formule, ni les équations sur lesquelles elle repose; nous dirons seulement qu'appliquée aux vapeurs d'eau, d'acide sulfureux, etc., elle s'accorde, au millimètre près, avec les tables de M. Regnault entre les limites $t' = 200°$ et $t = 0°$ qui correspondent aux maxima des écarts observés, étudiés avec le plus de précision.

Nous venons d'exposer comment s'établit la seconde circulation, celle d'acide carbonique ou de protoxyde d'azote, car les deux gaz peuvent être employés indifféremment.

Cette seconde circulation amène une chute de température qui atteint — 120° et même — 140° lorsque le vide est complet.

Nous passons maintenant à l'oxygène et au dispositif

qui permet d'utiliser ce grand froid et d'obtenir une pression énergique.

J'ai disposé dans l'intérieur du long tube D un second tube plus petit comme diamètre mais plus long que le tube D d'environ 50 centimètres.

Ce petit tube est très-épais. Son diamètre intérieur est exactement de 4 millimètres et son diamètre extérieur de 15 millimètres. La longueur de ce tube A (fig. 1 et 2) est de $4^m,16$.

Ce tube A traverse les deux fonds du tube D et dépasse ce tube de quelques centimètres dans la partie inférieure et de près de 50 centimètres dans la partie supérieure. C'est ce long tube qui doit servir de réservoir à l'oxygène comprimé.

Dans la partie inférieure, ce tube de cuivre est fileté sur une longueur de 6 centimètres.

Un manchon en acier se visse sur le tube qui a été préalablement étamé.

En chauffant on obtient une soudure parfaite.

Ce manchon en acier est percé de deux orifices.

Sur l'un vient se fixer un grand manomètre métallique *m'* (fig. 1 et 2) gradué jusqu'à 800 atmosphères.

Le diamètre de ce manomètre est suffisant pour que l'on puisse apprécier assez facilement le dixième de chaque graduation correspondant à 10 atmosphères. On peut donc estimer la pression à 1 atmosphère près.

Le manomètre communique avec la partie centrale du tube A par un trou pratiqué dans l'épaisseur des parois de ce tube en face de l'ouverture du manchon.

Le joint du manchon et du manomètre est rendu absolument hermétique par le serrage à bloc d'un anneau de cuivre comprimé entre les deux surfaces planes du joint.

Cet anneau s'aplatit légèrement et s'incruste dans ces deux surfaces d'une façon si intime qu'aucune fuite n'est à craindre.

Le second orifice du manchon d'acier est destiné au passage de l'oxygène liquide. Il est placé au-dessous du manomètre $m'$.

Cet orifice est très-étroit, il n'a que 3 millimètres de diamètre.

Une petite lance percée d'un trou d'un millimètre, vient se fixer à vis dans l'ouverture du manchon. C'est par son extrémité que les gaz comprimés et le liquide s'échapperont dès qu'on desserrera la vis d'acier $v$ qui ferme l'extrémité du tube A.

Ainsi que nous l'avons dit, le manchon d'acier enveloppe de toutes parts l'extrémité du tube A.

Si l'on ajuste, en face de l'orifice de ce tube et parallèlement à son axe, une vis à bout conique, filetée dans le manchon même, cette vis viendra obstruer entièrement le tube A lorsque la pointe se sera engagée dans l'orifice du tube.

Une forte pression ne risque pas de faire baver le tube de cuivre, car il est maintenu dans la gaîne solide qui le protége.

Ce système de fermeture donne les meilleurs résultats.

La partie supérieure du tube A se recourbe vers le sol et ce tube se relie à un gros obus de fer forgé B (fig. 1 et 2).

Cet obus a été forgé avec le plus grand soin, de manière à assurer la qualité exceptionnelle du métal et son homogénéité.

On a pratiqué dans l'intérieur une cavité cylindrique ayant exactement 1659 centimètres cubes de capacité.

Les dimensions extérieures de cet obus sont de 28 centimètres de hauteur et 17 centimètres de diamètre.

Les parois de ce récipient ont une épaisseur moyenne de 35 millimètres.

Le calcul des résistances montre qu'un obus pareil peut résister à une pression de plus de 1500 atmosphères.

La réunion du tube A avec l'obus B se fait par l'intermédiaire de deux joints semblables à celui du manomètre *m'*.

Un bouchon à vis en acier se visse à bloc sur l'extrémité du tube A et ce bouchon pénètre lui-même dans l'ouverture de l'obus. Un anneau de cuivre sert également de garniture pour éviter toute espèce de déperdition de gaz.

Avant de faire le joint, on introduit dans l'obus un poids connu de chlorate de potasse mélangé de chlorure de potassium, puis on visse le réservoir B à l'extrémité du tube A.

Sous l'obus B, on dispose une couronne de gaz, telle qu'elles sont employées dans les fours Perrot. En réglant la flamme, on amène progressivement la température de l'obus aux 485 ou 500 degrés nécessaires pour le dégagement complet de l'oxygène.

Le manomètre *m'* permet de suivre constamment la marche de l'opération.

Ce dispositif dispense de l'emploi des pompes pour la compression des gaz. La réaction chimique est la source unique de la pression.

La surface du tube A est relativement considérable, puisqu'il y a $3^{m},62^{c}$ noyés dans l'acide carbonique solide.

Nous avons fait aboutir le tube *t* vers le milieu du tube

D pour ne pas risquer d'élever brusquement la température de l'oxygène liquéfié qui ira s'emmagasiner dans la partie inférieure du tube A.

En effet l'acide carbonique liquide contenu dans le tube S passe dans le tube D à une température qui n'est pas instantanément le minimum. Il faut un certain temps pour amener l'abaissement complet de sa température ; or, il est nécessaire que les gaz condensés soient à l'abri de cette oscillation calorifique.

Le cul-de-sac compris entre l'orifice de la tubulure *t* et le manomètre *m'* résout parfaitement le problème car l'acide carbonique cristallisé qui s'y trouve conserve une température constante, minimum.

Telles sont les dispositions générales que j'ai adoptées pour tenter expérimentalement la liquéfaction de l'oxygène.

La description que nous venons d'en faire étant, par la force des choses, un peu longue et coupée de détails secondaires, je vais la résumer très-brièvement, me bornant aux conditions essentielles et les présentant dans l'ordre opposé à celui qui vient d'être suivi.

Le but que nous nous proposons est de liquéfier le gaz oxygène au moyen de basses températures et de fortes pressions.

Pour produire l'oxygène, nous nous servons d'un obus creux en fer dans lequel on met du chlorate de potasse que l'on chauffe progressivement.

L'oxygène se comprime dans l'espace clos, par sa propre formation. C'est ainsi que nous obtenons les pressions considérables.

Afin de permettre au gaz de subir les basses tempéra-

tures, on fait communiquer la partie supérieure de l'obus avec un long tube en cuivre à parois résistantes.

La pression de l'oxygène s'y établit comme dans l'obus, et un manomètre permet de la mesurer directement avec une approximation suffisante pour une première recherche.

Autour de ce tube renfermant l'oxygène sous pression, nous plaçons un second tube presqu'aussi long, qui communique avec un réservoir d'acide carbonique liquide.

Par un robinet de réglage convenablement disposé, on laisse passer peu à peu dans ce long tube suffisamment d'acide carbonique liquide pour le remplir jusqu'en haut.

Deux pompes font ensuite le vide sur cet acide carbonique et abaissent la température jusqu'à congeler et cristalliser le liquide.

Alors l'oxygène, soumis simultanément à cette basse température et à l'énorme pression produite par la réaction chimique, se condense ; ce qui se prouve soit par l'apparence du jet projeté par l'orifice du tube à oxygène, soit par les variations de pressions indiquées au manomètre.

Pour obtenir une grande quantité d'acide carbonique liquide, nous employons un expédient mécanique qui consiste à déterminer une première chute de température par l'intermédiaire de l'acide sulfureux.

Les appareils ordinairement employés dans les laboratoires étant beaucoup trop faibles, cette disposition particulière les remplace et permet de produire la liquéfaction, soit de l'acide carbonique, soit du protoxyde d'azote sur une grande échelle et avec une facilité parfaite.

Ces deux circulations d'acide sulfureux et d'acide carbonique sont *permanentes,* c'est-à-dire que toutes les

quantités de vapeur qui sont aspirées par les quatre pompes, sont transformées en liquide, puis repassent constamment dans les tubes où elles subissent une nouvelle volatilisation.

Le travail mécanique des pompes représente exactement *la cause productrice du froid.*

Une relation intime réunit ces deux quantités; d'une part le nombre de kilogrammètres fournis par la machine à vapeur motrice, de l'autre le nombre de calories absorbées par la production du froid.

Les températures tendent vers un état *de régime* qui correspond au plus grand froid qu'il soit possible de produire avec les moyens décrits.

Supposons que nous assistions dans l'intérieur du tube A (fig. 1 et 2) à la liquéfaction de 1 gramme d'oxygène. Le changement d'état gazeux en liquide développe beaucoup de chaleur. Que devient cette chaleur?

Elle passe d'abord au travers des parois du tube A et agit sur l'acide carbonique solide qui baigne ce tube. Une petite portion de ce corps passe aussitôt de l'état solide à l'état gazeux. Cette modification utilise toute la chaleur fournie par l'oxygène.

L'acide carbonique gazeux entraîne cette chaleur dans les pompes O et O′ et l'apporte dans le condenseur S. Là, l'acide carbonique reprend sa forme liquide et cède toute cette chaleur qu'il avait soutirée à l'oxygène.

La chaleur dégagée par ce second changement d'état traverse à son tour les parois métalliques du tube S et passe dans l'acide sulfureux liquide qui noye ce tube.

Ici comme précédemment, une quantité définie d'acide sulfureux liquide se vaporise et fixe cette chaleur par son mouvement moléculaire.

Les vapeurs d'acide sulfureux vont aux pompes P et P′ et sont comprimées dans le condenseur C.

Le dernier changement d'état s'opère et l'acide sulfureux liquide est reconstitué.

La chaleur abandonnée pendant cette transformation traverse les parois métalliques du condenseur C et passe dans le courant d'eau ordinaire qui traverse ce condenseur.

L'eau sortant de cet appareil possède donc *toute la chaleur cédée par l'oxygène* et cette chaleur est jetée dans l'égoût avec l'eau de condensation.

Nous avons donc utilisé dans ce dispositif *cinq changements d'états successifs* pour ôter à l'oxygène de la chaleur à une basse température et amener cette chaleur dans l'égoût mécaniquement.

Nous pensons que les explications qui précèdent suffisent pour donner une notion exacte des appareils que nous avons construits et permettront de suivre avec clarté la marche des expériences que nous allons relater dans le chapitre suivant.

## III.

### *Relation des expériences.*

Avant de procéder à des expériences définitives aussi complexes que celles qui nous occupent, on doit d'abord vérifier la marche de chaque appareil séparément et passer ainsi du simple au compliqué.

Ces préliminaires ressortent uniquement du domaine de la pratique, de la mécanique proprement dite. Les équations, les théories n'y jouent plus aucun rôle.

Ce qu'il faut, c'est d'avoir des joints absolument étan-

ches, des soupapes hermétiques ; des frottements aussi doux que possible, des garnitures parfaites, des manomètres bien exacts et corrigés, des thermomètres précis, des substances chimiques absolument pures ; ce sont mille détails, trop longs à énumérer, mais dont chacun est si important que le plus léger oubli, la plus petite inadvertance compromet à fond le succès final.

La moindre rentrée d'air, si facile à concevoir pour quatre pompes industrielles marchant avec un vide barométrique, serait une cause inévitable d'arrêt. Il faut la prévenir à tout prix.

Dans la fabrication de l'acide carbonique par l'action chimique de l'acide chlorhydrique sur le marbre, il faut dessécher les gaz, vérifier les matières premières, purger d'air le gazomètre et les appareils.

Pour l'oxygène, le chlorate de potasse doit être absolument sec et pur. Il faut l'introduire sans qu'aucun corps étranger puisse s'y associer.

Enfin il faut s'entourer de mille précautions, et ce qu'on peut affirmer, c'est qu'on n'en prend jamais trop.

A ce sujet, nous devons un témoignage de reconnaissance à M. le Dr Monnier, professeur de chimie biologique à l'Université de Genève, qui nous a prêté son concours avec une bienveillance parfaite, ainsi que son préparateur, M. Walter et M. Bürgin, ingénieur, attaché à notre société.

Les premières expériences partielles consistèrent à obtenir régulièrement les basses températures et à les maintenir pendant plusieurs heures, de façon à être sûr de cette partie essentielle des préparatifs.

Il nous fallut plus de 15 jours de tâtonnements et d'essais continuels pour arriver à un bon résultat.

Voici en quelques mots ce que nous apprirent ces essais :

Le premier condenseur que j'avais fait pour l'acide carbonique était un serpentin en cuivre baigné dans un récipient de même métal qui contenait l'acide sulfureux liquide.

Or, lorsque la température de l'acide sulfureux descendait au-dessous de —65°, l'acide carbonique se solidifiait dans l'intérieur du serpentin ; la pression à la compression atteignait en quelques instants 12 et même 14 atmosphères, parce que tout le serpentin étant plein, la surface de condensation se trouvait presqu'entièrement supprimée.

Cet accident me conduisit à la disposition indiquée dans la planche I. Le serpentin a été remplacé par un tube de 6 centimètres de diamètre, et de cette façon les congélations, si elles ont lieu, ne sont plus à craindre, car le volume disponible est très-suffisant pour recevoir tout le gazomètre.

Dans cette première série d'expériences préliminaires, j'ai marqué les tensions maxima des vapeurs d'acide carbonique et de protoxyde d'azote correspondant aux températures indiquées par un thermomètre à alcool construit par la maison Salleron de Paris.

Ces résultats ont donné des chiffres passablement différents de ceux qui se trouvent dans les livres de physique, spécialement ceux qui concernent le protoxyde d'azote.

Je résumerai plus loin ces données numériques en tableau.

Une fois rompu aux mouvements coordonnés qu'exigent la mise en train successive des quatre pompes et la

manœuvre des robinets, je procédai le 22 décembre 1877 au matin à une expérience complète.

Voici le relevé de mes notes prises pendant l'expérience :

*1re expérience du 22 décembre.* Les pompes sont mises en action vers 9 heures du matin. La température s'abaisse rapidement dans le tube R.

9 h. 30′. La température est —55°. On met les pompes d'acide carbonique en fonctionnement. Le gazomètre descend. Pression de l'acide carbonique 6 atmosphères. Elle monte lentement pendant la marche jusqu'à 8 atmosphères.

9 h. 50′. La température est —49°, la pression 8,5 atmosphères.

Je ferme l'admission de l'acide carbonique aux pompes.

10 h. 20, Température —65°, pression 3,9 atmosphères.

Je rouvre l'admission du gaz, mais légèrement.

10 h. 40′. Température —60°, pression 5 atmosphères.

800 litres de gaz acide carbonique sont déjà liquéfiés.

Le givre couvre le bas du manomètre *m′* à oxygène.

10 h. 50′. On visse l'obus au tube A.

L'obus est chargé de 700 grammes de chlorate de potasse mélangé à 250 grammes de chlorure de potassium pilés ensemble, tamisés et parfaitement desséchés.

11 h. On allume la couronne de gaz sous l'obus.

L'acide carbonique est introduit plus abondamment dans les pompes. La pression monte à 10 atmosphères, température —48°. On est certain que l'acide carbonique a passé en totalité dans le long tube D, parce que le

givre paraît sur le tube c″ qui débouche au haut du tube D.

11 h. 15′. On met en communication le tube c″ avec l'aspiration des pompes, la température de l'acide carbonique devient un minimum, —130°.

11 h. 35′. Le manomètre de l'oxygène indique un commencement de pression, environ 5 atmosphères.

Le régime des deux circulations d'acide sulfureux et d'acide carbonique est parfaitement établi.

12 h. 10′. Le manomètre à oxygène marque 50 atmosphères.

12 h. 16′. La pression monte à 60 atmosphères, puis s'élève progressivement ainsi qu'il suit :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 12 h. 23′ | Pression | 70 | atmosphères. |
| 12 h. 29′ | » | 80 | » |
| 12 h. 34′ | » | 90 | » |
| 12 h. 36′ | » | 100 | » |
| 12 h. 37′ | » | 150 | » |
| 12 h. 37′25″ | » | 200 | » |
| 12 h. 38′ | » | 460 | » |
| 12 h. 39′ | » | 510 | » |
| 12 h. 39′30″ | » | 522 | » |
| 12 h. 40′ | » | 525 | » |
| 12 h. 42′ | » | 526 | » |
| 12 h. 44′ | » | 525 | » |
| 12 h. 48′ | » | 505 | » |
| 12 h. 50′ | » | 495 | » |
| 1 h. | » | 471 | » |

1 h. 5′. Pression 471 atmosphères.

La pression est stationnaire; donc tous les phénomènes chimiques et physiques sont terminés.

La condensation a provoqué l'abaissement de pression signalée au manomètre, et tout le volume représenté par la capacité intérieure du tube A est plein d'oxygène liquide.

Il y a certainement excès de gaz, ce qui motive une pression supérieure à celle de la tension maximum correspondant à la température de l'acide carbonique liquide.

1 h. 10′. La pression est exactement 470 atmosphères.

J'ouvre le robinet à vis qui ferme le tube A.

Un jet liquide sort avec une grande violence et revêt l'apparence d'un pinceau blanc éclatant. Une auréole bleuâtre entoure ce jet surtout dans la partie inférieure.

La longueur du pinceau liquide est d'environ 10 à 12 centimètres sur un diamètre de 1,5 à 2 centimètres.

Le jet dure 3 à 4 secondes environ.

Je referme le robinet régleur.

La pression est encore de 396 atmosphères.

En quelques minutes, elle descend à 352 où elle reste stationnaire à peu près 3 minutes.

1 h. 18′. Je rouvre le robinet à vis. Un second jet liquide sort, semblable au premier. Mais, de suite après, le gaz s'échappe sous l'aspect aériforme bien caractérisé.

Le gaz en se détendant produit un fort brouillard par sa condensation partielle ; cependant il est évident qu'il sort de l'orifice sous un état différent de celui qu'il revêtait au début, il n'y avait certainement plus de liquide dans le tube.

1 h. 19′. La pression est de 50 atmosphères. Le gaz s'échappe en continuant de produire un brouillard bleuâtre très-apparent, mais sans aucune apparence d'entraînement de liquide.

Des charbons légèrement enflammés placés sous la lance au moment du second jet s'allumèrent avec une violence inouïe en projetant des étincelles de tous les côtés.

Cette première expérience suffit amplement pour démontrer expérimentalement que l'oxygène peut se liquéfier.

La marche des pressions est un caractère plus positif encore, s'il est possible, de cette démonstration que les apparences du jet à la sortie. Cependant, l'accord complet qui règne dans ces phénomènes connexes et la possibilité d'introduire dans les calculs toutes ces données numériques, nous ont engagé à reproduire plusieurs fois de suite cette même expérience pour arriver à déterminer la *densité* de l'oxygène liquide ainsi que la *tension maximum* pour une température définie.

Ces deux éléments physiques sont les plus importants à connaître et caractérisent les propriétés générales du nouveau liquide.

Dans ce but, nous avons reproduit cinq expériences consécutives qui permettent d'obtenir des moyennes exactes numériques.

Les quantités que nous avons mesurées avec le plus de précision sont :

1° Le poids total du chlorate de potasse et du chlorure de potassium introduit dans l'obus.

2° La température à laquelle la réaction a lieu.

3° Le volume exact du chlorure de potassium qui constitue le résidu.

4° Le volume occupé par l'oxygène comprimé.

5° Le volume du tube où l'oxygène doit se condenser.

6° La pression théorique à laquelle on devrait parvenir s'il n'y avait pas de condensation.

7° La pression obtenue au moment de la décomposition du chlorate de potasse.

8° La pression statique après la condensation.

9° La marche du manomètre après le premier jet lorsqu'une seconde condensation commence.

10° La pression statique après la condensation lorsque le tube est entièrement rempli pour la seconde fois. Cette pression est caractérisée par la fixité de l'aiguille durant plusieurs minutes.

11° Mêmes observations après le second jet.

12° Déterminer, par la position de l'aiguille du manomètre, la pression maximum à laquelle se produit la condensation.

Cette position est obtenue lorsque la chute de l'aiguille est inférieure à celle qui devrait correspondre à la condensation d'un volume de liquide égal au volume du tube refroidi.

La fixité de cette pression est un caractère précis et infaillible qui permet aisément de déterminer cette tension maximum.

13° La température de l'acide carbonique solide dans l'enveloppe du tube A.

14° La densité de l'oxygène gazeux.

Ces diverses données numériques permettent de déduire *la densité de l'oxygène liquide* avec une assez grande exactitude, ainsi que nous le montrerons plus loin. Comme il n'est pas utile d'encombrer ce mémoire de chiffres, nous nous bornerons à relater une des cinq expériences, faite le 27 décembre de 8 h. à 10 h. du soir.

Les autres, ayant eu lieu dans des conditions analogues, ne diffèrent que par les variations observées dans la durée des jets et par quelques écarts dans les pressions extrêmes, écarts que nous signalerons dans les tableaux.

*Expérience du 27 décembre de 8 à 10 h. du soir.* Les pompes à glace sont mises en action vers 8 heures et peu après celles à acide carbonique.

A 9 h. 30′ le givre apparaît sur le tube de retour c″, ce qui montre que le grand tube D est complétement rempli d'acide carbonique solide.

Notre manomètre métallique ayant un écart au départ de 29 atmosphères, nous donnons ci-dessous les pressions, corrigées de cette différence du cadran, différence sans importance du reste quant à leur valeur absolue.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 8 h. 32′ | Pression | 50 | atmosphères |
| 8 h. 38′, 20″ | » | 60 | » |
| 8 h. 45′ | » | 70 | » |
| 8 h. 50′, 10″ | » | 80 | » |
| 8 h. 51′, 40″ | » | 90 | » |
| 8 h. 52′ | » | 100 | » |
| 8 h. 52′, 15″ | » | 155 | » |
| 8 h. 52′, 30″ | » | 220 | » |
| 8 h. 52′, 45″ | » | 310 | » |
| 8 h. 52′, 55″ | » | 390 | » |
| 8 h. 53′ | » | 490 | » |
| 8 h. 53′, 15″ | » | 520 | » |
| 8 h. 53′, 30″ | » | 525 | » |
| 8 h. 53′, 45″ | » | 526 | » |
| 8 h. 54′ | » | 525 | » |
| 8 h. 55′ | » | 523 | » |
| 8 h. 57′ | » | 500 | » |
| 8 h. 59′ | » | 489 | » |
| 9 h. 0′ | » | 480 | » |
| 9 h. 5′ | » | 475 | » |
| 9 h. 10′ | » | 472 | » |
| 9 h. 15′ | » | 471 | » |
| 9 h. 17′ | » | 471 | » |

La pression étant devenue stationnaire, j'ouvre le robinet de fermeture.

Un jet liquide s'échappe, éclairé par un faisceau de lumière électrique.

On distingue nettement les mêmes apparences déjà décrites.

Au moment de la fermeture, la pression est exactement de 432 atmosphères.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 9 h. 17′, 15″ | Pression | 432 | atmosphères |
| 9 h. 18′ | » | 429 | » |
| 9 h. 19′ | » | 422 | » |
| 9 h. 20′ | » | 412 | » |
| 9 h. 21′ | » | 405 | » |
| 9 h. 22′ | » | 395 | » |
| 9 h. 23′ | » | 390 | » |
| 9 h. 24′ | » | 386 | » |
| 9 h. 25′ | » | 383 | » |
| 9 h. 26′ | » | 380 | » |
| 9 h. 27′ | » | 379 | » |
| 9 h. 28′ | » | 378 | » |
| 9 h. 29′ | » | 378 | » |
| 9 h. 30′ | » | 378 | » |
| 9 h. 31′ | » | 378 | » |
| 9 h. 32′ | » | 378 | » |
| 9 h. 35′ | » | 378 | » |

La pression est devenue stationnaire une seconde fois, le manomètre a baissé progressivement de 432 atmosphères à 378, où il est de nouveau fixe. Différence 54 atmosphères.

J'ouvre le robinet de sortie. Il s'échappe un jet abso-

lument semblable au premier et sensiblement de même durée. Dès qu'il y a trace de gaz à l'orifice de sortie, j'en conclus que tout le liquide s'est écoulé, je ferme le robinet instantanément.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 9 h. 35′, 15″ | Pression | 291 | atmosphères |
| 9 h. 36′ | » | 285 | » |
| 9 h. 37′ | » | 280 | » |
| 9 h. 38′ | » | 276 | » |
| 9 h. 39′ | » | 272 | » |
| 9 h. 40′ | » | 272 | » |
| 9 h. 41′ | » | 272 | » |
| 9 h. 42′ | » | 272 | » |
| 9 h. 43′ | » | 272 | » |
| 9 h. 44′ | » | 272 | » |
| 9 h. 45′ | » | 272 | » |
| 9 h. 46′ | » | 272 | » |
| 9 h. 50′ | » | 272 | » |

La pression est pour la troisième fois constante, seulement elle n'a baissé en 15 minutes que de 19 atmosphères.

La précédente fois elle avait baissé dans le même temps de 54 atmosphères.

J'ouvre de nouveau le robinet de réglage.

Il sort peu de liquide et presqu'immédiatement le gaz seul s'échappe.

La transition est tellement visible qu'elle a été saisie par plus de vingt assistants au même instant.

Le brouillard produit par la détente du gaz est extrêmement marqué, mais l'apparence générale du jet est pro-

fondément modifiée et l'on ne saurait confondre ces deux phases successives.

A partir de cet instant, le manomètre ne descend plus, lorsqu'on ferme le robinet; il est absolument fixe après chaque fermeture.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 9 h. 52′ | Pression | 225 | atmosphères |
| 9 h. 53′ | » | 225 | » |
| Nouveau jet gazeux. | | | |
| 9 h. 54′ | Pression | 190 | » |
| 9 h. 55′ | » | 190 | » |
| Jet gazeux. | | | |
| 9 h. 56′ | » | 143 | » |
| 9 h. 57′ | » | 143 | » |
| Jet gazeux assez long. | | | |
| 9 h. 54′ | Pression | 72 | » |
| 9 h. 55′ | » | 72 | » |
| Dernier jet gazeux. | | | |
| 9 h. 56′ | » | 0 | » |

L'expérience est terminée.

On enlève l'obus pendant qu'il est encore chaud, afin d'éviter que le bouchon à vis ne se grippe.

On bouche l'orifice de l'obus avec un bouchon de liége et on le laisse refroidir.

Lorsqu'il est froid, on verse de l'eau dans l'intérieur, de manière à faire affleurer le niveau au joint de cuivre sur lequel vient plaquer le bouchon à vis.

Il est évident que cette eau occupe le même volume que remplissait l'oxygène pendant l'expérience.

On connaît exactement le poids de l'eau versée dans

l'obus au moyen de deux pesées successives de l'éprouvette dans laquelle cette eau se trouvait.

On la pèse avant le remplissage et après. La différence correspond au poids de l'eau versée.

Ce poids a été trouvé exactement de 944 grammes. Donc le volume est de 944 centimètres cubes.

Une autre détermination que l'on fait également pendant la durée de l'expérience, consiste à lire la pression P correspondant à l'aspiration des pompes à acide carboniqué, pour connaître la température à laquelle la liquéfaction a eu lieu. Ces observations ont été faites à plusieurs reprises et les résultats sont tellement identiques dans toutes les expériences que les moyennes sont absolument exactes.

Nous signalerons ici un point secondaire, mais qui prend de l'importance pour l'évaluation de la température de l'obus pendant l'opération.

Afin d'éviter tout danger d'explosion, si un accident imprévu venait à se produire, j'ai entouré l'obus de trois gros anneaux en fonte, superposés les uns sur les autres. Ils forment une sorte d'épais fourreau ayant 50 centimètres de haut, un diamètre intérieur de 23 centimètres et un diamètre extérieur de 32,5 centimètres.

Entre l'obus, qui est au centre, et les parois de ce fourreau il y a un intervalle circulaire de 3 centimètres par où circulent les flammes de la couronne de gaz.

Cette disposition permet à l'obus de se chauffer très-également partout à la fois, et présente surtout l'avantage, lorsque la température est assez élevée pour amener la réaction chimique, de conserver cette température très-longtemps sans grande variation. Le rayonnement extérieur ne peut pas agir sur l'obus directement, mais n'in-

fluence que le fourreau dont l'énorme masse représente un magasin de chaleur suffisant.

Nous avons cherché dans les auteurs les plus autorisés les éléments nécessaires à la détermination de cette température assez haute. Soit par le ramollissement du verre, soit par les températures qui amènent le rouge sombre, soit par la fusion de métaux, soit par l'usage du thermomètre à air, on peut conclure que cette température est comprise entre 480° et 500°; une température de 525° serait un *maximum* et 480° serait trop faible.

Comme la flamme du gaz est éteinte dès que la réaction a eu lieu, la température reste à peu près constante pendant la demi-heure qui suit. Nous l'estimerons dans nos calculs à 485° en nous basant sur le fait que nos expériences ont assez de durée, pour donner à ce chiffre inférieur une plus grande exactitude qu'au chiffre supérieur.

Sur ce point-là, une erreur d'une vingtaine de degrés est admissible, mais elle n'a qu'une influence assez faible sur les résultats numériques.

Sur les 5 expériences faites pour la liquéfaction de l'oxygène, trois ont été faites à l'aide de l'acide carbonique, et deux à l'aide du protoxyde d'azote.

Elles ont du reste été dirigées de la même manière et dans des conditions aussi identiques que possible.

Ces expériences ont eu lieu :

1° Le lundi, 24 décembre, de 9 heures à 1 heure avec l'acide carbonique.

2° Le jeudi, 27 décembre, de 10 heures à midi, avec l'acide carbonique.

3° Le jeudi, 27 décembre, de 8 heures à 10 heures du soir, avec l'acide carbonique.

4° Le samedi, 29 décembre, de 4 heures à 6 heures du soir, avec le protoxyde d'azote.

5° Le vendredi, 4 janvier, de 4 heures à 6 heures du soir, avec le protoxyde d'azote.

Nous n'avons pas l'intention, ainsi que nous l'avons dit, de donner in extenso tous les chiffres correspondants à ces expériences par heures et minutes, mais nous groupons dans le tableau ci-après les données essentielles qui caractérisent les phénomènes de liquéfaction et qui serviront de base au calcul.

Dans chaque expérience nous avons introduit dans l'obus rigoureusement la même quantité de chlorate de potasse mélangé de chlorure de potassium.

Ces produits, préparés avec le plus grand soin dans le laboratoire de chimie de M. le prof. Monnier, ont été séchés, fondus, puis pilés avant d'être mis dans le récipient.

Les quantités dont j'ai fait usage dans ces cinq expériences étaient :

| | | |
|---|---|---|
| Chlorate de potasse | 700 | grammes |
| Chlorure de potassium | 300 | » |

Les observations les plus importantes se rapportent à cinq phases successives dans chaque expérience. Nous enregistrons :

1° *La pression maximum observée au manomètre après la production totale du gaz et après que la condensation s'est opérée dans le tube.*

Cette pression est stationnaire au moins pendant un quart d'heure.

Elle est toujours inférieure à la pression marquée par le manomètre à la fin de la réaction chimique, réaction extrêmement brusque.

2° *La pression après le premier jet,* lorsque l'on voit

*distinctement* que le jet liquide est remplacé par un jet gazeux.

On ferme le robinet et l'on marque la pression instantanément.

3° *La pression stationnaire qui suit l'abaissement de pression constamment consécutif à cette dernière opération.*

La condensation de l'oxygène dans le tube entraîne cette diminution de pression.

Quand le tube est plein une seconde fois, la condensation s'arrête forcément et la pression devient stationnaire.

4° *La pression après le deuxième jet.*

5° *La pression stationnaire après le deuxième jet.*

Dans toutes nos expériences le troisième jet n'a jamais été complet; il a toujours été notablement inférieur aux deux premiers, ce qui prouve que la condensation n'a pas pu être assez abondante pour remplir trois fois le tube refroidi.

Nous verrons dans le chapitre suivant comment ces données numériques peuvent fournir la densité de l'oxygène liquide.

Voici le tableau des 5 expériences que nous désignons par les nombres 1 à 5 en tête de chaque colonne correspondante.

Les pressions sont corrigées de l'écart du manomètre et représentent les tensions effectives :

*Tableau des résultats numériques obtenus dans cinq expériences consécutives sur la liquéfaction de l'oxygène.*

| Désignation des pressions. | Nos des expériences. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1re Atmos. | 2e Atmos. | 3e Atmos. | 4e Atmos. | 5e Atmos. |
| 1° Pression maximum stationnaire de l'oxygène avant la sortie du 1er jet. | 470 | 471 | 471 | 469 | 469 |
| 2° Pression indiquée immédiatement après le 1er jet liquide. | 367 | 395 | 432 | 400 | 416 |
| 3° Pression stationnaire avant le 2e jet liquide, durant quelques minutes. | 308 | 339 | 378 | 346 | 361 |
| 4° Pression après le 2e jet. | 285 | 290 | 291 | 285 | 296 |
| 5° Pression stationnaire avant le 3e jet liquide. | 274 | 271 | 272 | 251 | 253 |
| 6° Pression immédiatement après le 3e jet qui est très-court. | — | 245 | — | 215 | 205 |
| 7° Pression stationnaire après le 3e jet, environ cinq minutes plus tard. | — | 253 | — | 218 | 212 |
| 8° Pression après le 4e jet toujours gazeux. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Dans le chapitre suivant nous nous servirons des résultats numériques contenus dans ce tableau pour le calcul de la *densité de l'oxygène liquide* par le moyen de deux méthodes différentes.

## IV

*Calcul de la densité de l'oxygène liquide. Tensions maxima.*

Si nous discutons les résultats des expériences relatées dans le chapitre précédent, nous pouvons en déduire plusieurs conséquences immédiates sur les propriétés physiques de l'oxygène liquéfié.

Pour cela, calculons d'abord le *poids d'oxygène* dégagé pendant la réaction.

Nous avons la formule :

$$2\,KCl.\,O^3 = KCl. + O^6$$

En la rapportant à 700 grammes de chlorate de potasse, on a :

$$700 \times 39{,}16 = 274{,}12 \text{ grammes.}$$

Pour avoir le volume de cette masse de gaz à 0° il faut diviser ce poids par le poids spécifique $\delta$.

$$\delta = 1{,}437 \text{ (Regnault)}$$

et l'on trouve :

$$\frac{274{,}12}{1{,}437} = 191{,}4 \text{ litres.}$$

Ces 191,4 litres sont portés à une température de 485° et remplissent un volume composé de deux parties.

1° L'espace vide au-dessus du chlorure de potassium.

2° Le volume du tube A, de l'obus au manomètre.

Appelons $v$ le premier volume et $v'$ le second.

Supposons que $v$ et $v'$ soient à la même température de 485°. Calculons la pression finale que doit produire la production de 191,4 litres d'oxygène.

On suppose exacte la loi de Mariotte et de Gay-Lussac et l'on pose

$$(1) \qquad P = \frac{191,4\,(274 + 485)\ 1000}{274 \times (v + v')}$$

$v$ et $v'$ s'expriment en centimètres cubes.

Les pesées de l'eau nécessaire pour remplir l'obus après les expériences donnent exactement

$$v = 944 \text{ centimètres cubes.}$$

Quant à $v'$ il est égal à la section du tube multipliée par sa longueur totale.

Le tube a 4 millimètres de diamètre et $4^m,16$ de longueur, donc

$$v' = \pi.\ \overline{0,2}^2 \times 4^m,16 = 52,25 \text{ cent. cubes.}$$

Remplaçant dans l'équation (1) $v$ et $v'$ par leurs valeurs on en tire la valeur de P. Nous tenons compte de la température 485° qui agit sur le volume $v$ en prenant pour coefficient de dilatation du fer

$$K = 0,0000122045$$

on a la formule finale :

$$(2) \quad P = \frac{191,4\,(274 + 485)\ 1000}{274\,[944\,(1 + 485 \times 3 \times 0,0000122045) + 52,25]}$$

$$P = 532,10 \text{ atmosphères.}$$

Nous voyons par là que la pression correspondant à la production de 191,4 litres d'oxygène est au maximum de 532,10 atmosphères.

Cette pression n'a pas été atteinte, mais s'en est passablement rapprochée ; nous avons vu le manomètre à 522, 524, 517 atmosphères, mais n'a jamais dépassé 526 (3e expérience).

Par contre la pression, après avoir assez rapidement

baissé, s'arrête à une valeur fixe pendant plusieurs minutes.

Cet arrêt dans la marche de l'aiguille du manomètre est un indice évident que la condensation s'est aussi arrêtée. Quelle peut en être la cause?

Une seule est admissible: c'est que le tube de condensation est rempli de liquide. S'il ne l'était pas, la condensation continuerait infailliblement, puisque la température est maintenue constante par l'action de plus de 2 kilogrammes d'acide carbonique solide ou de protoxyde d'azote.

Il faut donc connaître d'une manière précise le volume du tube où la condensation peut s'opérer.

Entre le manomètre m′ et le sommet du tube qui contient l'acide carbonique, je mesure exactement une longueur de $3^m,62$.

Donc le volume $v$ (où l'oxygène se liquéfie) est de :

$$v = \pi \overline{0,2^2} \times 3^m,62 = 45,467 \text{ centim. cubes.}$$

La température de ce tube est d'environ — 120°, ce qui contribue à diminuer son volume; d'autre part il est soumis à l'intérieur à une pression considérable, ce qui tend à l'augmenter. Ces deux causes de changements produisent toutes deux des effets très-petits numériquement parlant, et agissent en sens contraire. Nous pouvons donc sans grande erreur nous servir de ce nombre tel quel.

Calculons pour chaque expérience la différence qui existe entre la pression théorique, à laquelle on aurait dû parvenir sans la condensation, et la *pression stationnaire* obtenue avant le premier jet, on aura de cette manière une estimation de la variation de volume correspondant au changement d'état opéré.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
|---|---|---|---|---|---|
| Pression théorique . . | 532,10 | 532,10 | 532,10 | 532,10 | 532,10 |
| Pression observée . . | 470 | 471 | 471 | 469 | 469 |
| Différences . . . | 62,10 | 61,10 | 61,10 | 63,10 | 63,10 |

La moyenne de ces 5 expériences donne pour la différence le nombre 62,1 atmosphères.

On peut calculer le poids en grammes représenté par la variation de 1 atmosphère. Appelons-le $p$. On a la formule :

$$(4) \qquad p = \frac{274,12}{532,10} \text{ grammes} = 0^{gr},51517.$$

Donc le poids F de l'oxygène liquéfié est égal à :

$$(5) \quad F = \frac{274,12}{532,10} \times 62,1 + \left\{ \begin{array}{l} \text{le poids du gaz compris dans} \\ \text{le tube avant la liquéfaction.} \end{array} \right.$$

Nous avons supposé dans la recherche de la pression maximum théorique que le volume total $v + v'$ occupé par le gaz était à la température de $+ 485°$.

Nous devons donc calculer le poids du gaz comprimé dans le volume $v'$ à 485°.

Ce poids est donné par la proportion :

$$(6) \qquad 996,25 : 274,12 = 45,467 : x$$

d'où x est déduit; et l'on a

$$x = 12,51 \text{ grammes.}$$

La variation moyenne de la pression observée avant le premier jet indique la variation du volume correspondant au changement d'état ; donc le poids du gaz condensé *est la somme du poids du gaz qui se trouvait dans le tube avant la condensation, plus le poids du gaz représenté par la diminution de pression.*

On a pour sa valeur en appelant ce poids R

$$(7) \qquad R = 12,51 + 62,1 \times 0,51517 \text{ grammes}$$

$$R = 44,502 \text{ grammes.}$$

Le volume occupé par ce liquide est égal à $v'$, donc :

$$(8) \qquad \frac{R}{v'} = \text{densité de l'oxygène liquide } d,$$

et l'on en tire

$$\frac{44,502}{45,467} = d = 0,9787.$$

Telle est donc la densité de l'oxygène liquide déduite des observations directes relatées dans les cinq expériences faites dans ce but.

M. Dumas, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de Paris, nous écrivait en date du 26 décembre dernier les observations suivantes :

« Voulez-vous me permettre d'ajouter que, si je ne me trompe, la densité de l'oxygène liquide doit être égale à celle de l'eau.

« La densité du soufre étant 2, ce que j'ai appelé il y a près de soixante ans, à Genève même, son volume atomique égale

$$\frac{32}{2} \text{ soit } 16.$$

« Les corps isomorphes ayant même volume atomique, si celui de l'oxygène est pris pour 16, on aura

$$\frac{16}{16} = 1 \text{ pour la densité de l'oxygène solide}$$

et à peu près ce chiffre pour la densité à l'état liquide.

« Le volume atomique du phosphore étant 15,5 on aurait pour l'azote

$$\frac{14}{15,5} = 0,9 \text{ et plus probablement } 0,45$$

à cause de l'état dédoublé de sa molécule.

« Le volume atomique du magnésium étant 13,8, celui de l'hydrogène serait

$$\frac{1}{13,8} = 0,07 \text{ au moins.}$$

« Ce volume pourrait être beaucoup plus élevé, si l'hydrogène, comme le potassium et le sodium, offrait à l'état libre un volume très-supérieur à celui qu'il affecte à l'état combiné.

« Ces présomptions peuvent avoir quelque intérêt pour se rendre compte de l'état probable du liquide que vous devez obtenir. Il serait très-intéressant de savoir si la densité de l'oxygène liquide se rapproche ou s'éloigne de celle qu'on serait porté à lui attribuer.

« Mais le problème de mécanique moléculaire dont vous poursuivez la solution vous réclame tout entier et je me reprocherais de vous en distraire, malgré l'intérêt paternel que je porte à la détermination du volume atomique.

« *P.-S.* — Si l'hydrogène est un métal, comme je me suis permis de le supposer dans ma jeunesse, sa condensation ne pourrait-elle pas donner lieu à un amalgame solide en le comprimant sur le mercure congelé ?

« En ce cas la tension pourrait être détruite ou diminuée. »

Nous sommes très-heureux d'avoir pu confirmer expérimentalement les prévisions de l'illustre chimiste et nous pensons que cette vérification, obtenue soixante ans après la fondation de la théorie atomique, est un beau triomphe pour son plus ardent et savant promoteur.

*Seconde méthode.* Les expériences dont nous avons donné les chiffres essentiels permettent une seconde esti-

mation de la densité, estimation moins précise que celle que nous avons obtenue par les calculs précédents, mais qu'il ne faut cependant point dédaigner.

Voici comment nous comprenons cette seconde recherche : le robinet de réglage a été fermé après le premier jet d'oxygène liquide, au moment *très-marqué* où le jet liquide était remplacé par un jet gazeux.

Le brouillard épais produit par la condensation de l'oxygène à l'état vésiculaire au moment de la détente, ne trouble absolument pas cette observation qui peut se faire par plusieurs assistants simultanément.

Donc, au moment de la fermeture du robinet à vis, on peut assurer que tout le liquide condensé est parti par l'orifice. Le tube doit être plein de gaz sous pression.

Ce gaz sort d'un obus où la température est élevée et pénètre dans le tube puissamment refroidi.

Il nous faut estimer la température probable du gaz au moment de la fermeture du robinet.

On sait que les gaz prennent avec une facilité extraordinaire la température des enveloppes qui les contiennent, surtout quand les espaces sont restreints.

Nous devons donc déduire la température du gaz, du rapport des écarts de température que subiront le gaz qui se refroidit et le cuivre du tube qui s'échauffe.

On connaît les poids de ces deux corps, leurs chaleurs spécifiques et leurs températures extrêmes, donc la solution est possible.

Calculons le poids A du tube de cuivre.

Les dimensions sont :

| | | |
|---|---|---|
| diamètre extérieur | = | 15 millimètres |
| » intérieur | = | 4 » |
| longueur | = | $3^m,62$ |
| densité | = | 8,95 |

On a

$$(8) \quad A = \pi (\overline{0,75}^2 - \overline{0,2}^2)\ 362 \times 8,95 \text{ grammes.}$$

$$A = 5319,3 \text{ grammes.}$$

A la fin du premier jet, après la condensation de l'oxygène et sa projection au dehors, on peut estimer que le maximum de la température du cuivre est de — 110° limite supérieure.

Appelons $x$ le nombre de degrés dont la température du cuivre s'élèvera et $y$ le nombre de degrés correspondant à l'abaissement de température de F grammes de gaz compris dans le tube sous une pression P.

On peut former les deux équations.

$$(9) \qquad 5,3193\, c\, x = F \times K \times y \qquad \text{et}$$

$$(10) \qquad x + y = 485 - (-110) = 595.$$

Dans ces équations

$c =$ chaleur spécifique du cuivre 0,094 et

K = chaleur spécifique à pression constante de l'oxygène = 0,2182.

Quant à F il est donné par la formule

$$(11)\ F = \frac{0,045467 \times 1,437\,(274 + x - 110) \times \text{press. en atm.}}{274}$$

Résolvant ces équations nous trouvons comme solutions numériques.

$x =$ 4 degrés

$y =$ 591 degrés

F = 16,59 grammes pour P = 400 atmosphères.

Pour chacune des cinq expériences faites, nous ajouterons au poids du gaz contenu dans le tube le poids d'oxygène correspondant à la diminution de la pression observée au moment où elle est redevenue stationnaire.

La somme représentera le poids de l'oxygène liquide avant la sortie du deuxième jet.

1re *expérience.* La pression initiale est de 367 atmosphères. La formule (11) appliquée donne pour F :

$$F = \frac{0{,}045467 \times 1{,}437 \times 168 \times 367}{274} = 14{,}705 \text{ gram.}$$

D'un autre côté nous savons que la pression a diminué progressivement de la pression initiale 367 à la pression stationnaire 308. La différence est de 59 atmosphères.

Le poids correspondant à cette différence est F'.

$$F' = 0{,}51517 \times 59 = 30{,}395 \text{ grammes.}$$

La somme F + F' = le poids d'oxygène condensé.

$$F + F' = 45{,}100 \text{ grammes.}$$

Cette expérience donnerait pour la densité de l'oxygène liquide la valeur.

$$\frac{45{,}100}{45{,}467} = 0{,}9919$$

2me *expérience.* La pression initiale est 395 atmosphères.

$$F = 16{,}21 \text{ grammes.}$$

La pression passe progressivement de 395 atmosphères à 339 atmosphères où elle reste stationnaire.

Cette différence est de 56 atmosphères.

$$F' = 0{,}51517 \times 56 = 28{,}85$$

$$F + F' = 45{,}06 \text{ grammes.}$$

$$\text{La densité } \frac{45{,}06}{45{,}467} = 0{,}9908.$$

3e *expérience.* La pression initiale est 432 atmosphères.

$$F = 17{,}306 \text{ grammes.}$$

La pression descend jusqu'à 378 atmosphères.

La différence est de 54 atmosphères.

$$F' = 54 \times 0{,}51517 = 27{,}82 \text{ grammes.}$$

$$F + F' = 45{,}126 \text{ grammes.}$$

$$\text{La densité } \frac{45,126}{45,467} = 0,9925$$

*4e expérience.* La pression initiale est 400 atmosphères.

$$F = 16,59 \text{ grammes.}$$

La pression tombe jusqu'à 346 atmosphères.

La différence est de 54 atmosphères.

$$F' = 54 \times 0,51517 = 27,82 \text{ grammes.}$$

$$F + F' = 44,41 \text{ grammes.}$$

$$\text{La densité } \frac{44,41}{45,467} = 0,9767.$$

*5e expérience.* La pression initiale est 416 atmosphères.

$$F = 16,665 \text{ grammes.}$$

La pression s'abaisse jusqu'à 361 atmosphères.

Différence 55 atmosphères.

$$F' = 55 \times 0,51517 = 28,33 \text{ grammes.}$$

$$F + F' = 44,995 \text{ grammes.}$$

$$\text{Densité } \frac{44,995}{45,467} = 0,9896$$

Nous pouvons tirer de ces cinq expériences une moyenne générale plus exacte.

On trouve pour la densité

$$d = \underline{\underline{0,9883}}$$

La première méthode employée nous avait conduit à la valeur :

$$d = \underline{0,9787}$$

La différence 0,0096 est du même ordre que les erreurs d'observations.

Nous remarquons en effet que notre manomètre ne peut indiquer les pressions avec exactitude qu'à 1 atmos-

phère près, et que nous avons dû employer les chaleurs spécifiques en dehors des limites où leurs déterminations ont été faites.

L'abaissement de température pendant la durée des expériences est une cause permanente d'écarts qui tendent tous à *forcer* la valeur de la densité.

C'est pourquoi, tout en ayant donné la valeur de la densité tirée des 5 expériences au moyen des variations de pressions consécutives au premier jet, nous pensons que la première méthode est plus sûre et nous a fourni un chiffre qui se rapproche davantage de la réalité.

C'est donc le nombre 0,9787 qui nous paraît le plus exact.

*Tension maximum des vapeurs d'oxygène.* Le second élément physique que nous avions en vue de déterminer avec exactitude au moyen des 5 expériences relatées, est la *tension maximum* des vapeurs d'oxygène. Cette détermination est encore très-incomplète, car elle demande un nombre beaucoup plus grand d'expériences.

Il faut pouvoir faire varier les températures entre certaines limites parfaitement connues, et observer simultanément les changements de pressions.

Dans cette première série de recherches notre but étant, avant tout, de *liquéfier* l'oxygène, nous avons fait usage du *minimum de température* que l'on pouvait atteindre avec nos instruments.

Nous nous sommes servi, soit de l'acide carbonique, soit du protoxyde d'azote comme liquide auxiliaire, nous avons eu par conséquent deux *minima* correspondant chacun à un des deux liquides.

Les données numériques contenues dans le tableau de

la page 70 nous montrent clairement la valeur de ces deux minima l'un à la température de l'acide carbonique solide, l'autre à celle du protoxyde d'azote.

Après la sortie du deuxième jet liquide la pression dans la 1re expérience est encore 285 atmosphères. Cette pression s'abaisse progressivement jusqu'à la limite inférieure 274, où elle reste stationnaire et invariable pendant plusieurs minutes.

Cette chute correspond à une diminution de 11 atmosphères seulement.

Le poids d'oxygène liquéfié durant cette chute de pression ne dépasse pas 6 grammes.

Nous sommes certains par conséquent que le tube condenseur *n'est pas plein*. Donc, si la tension des vapeurs d'oxygène correspondant à la température de l'acide carbonique solide, est inférieure à 274 atmosphères, *la condensation doit continuer*, mais nous voyons qu'elle s'arrête; par conséquent la tension maximum des vapeurs d'oxygène à cette température est exactement 274 atmosphères.

Les trois premières expériences faites avec l'acide carbonique nous donnent les résultats suivants :

| | | |
|---|---|---|
| 1re | 274 | atmosphères |
| 2me | 271 | » |
| 3me | 272 | » |

Les deux dernières expériences faites avec le protoxyde d'azote donnent :

| | | |
|---|---|---|
| 4me | 251 | atmosphères |
| 5me | 253 | » |

La pression est moindre avec le protoxyde d'azote qu'avec l'acide carbonique.

Pour que ces chiffres aient une signification précise il faut connaître exactement les températures en degrés auxquelles ces pressions correspondent. Sans cela la pression maximum observée perdrait tout son intérêt.

Voici les déductions successives qui nous ont permis une première approximation.

*Mesure des températures.* Nous avons indiqué dans un chapitre précédent une formule générale que nous avons déduite directement de la théorie mécanique de la chaleur par l'analyse. Cette formule lie ensemble les pressions maxima aux températures correspondantes. Elle comprend en outre, dans ses facteurs, la chaleur latente de volatilisation à une température prise pour base, ainsi que la différence $c - k$ de la chaleur spécifique du liquide moins celle de la vapeur. Cette formule est :

$$l\left(\frac{P'}{P}\right) = \frac{[\lambda' + (c-k)(t'-t)]\ 431 \times 1{,}293\ \delta \times 274\,(t'-t)}{10333\ [(274+t')^2 - (274+t')\,(t'-t)]}$$

Dans cette formule on suppose connues les quantités suivantes :

$$P' \text{ à } t',\ \lambda',\ (c - k) \text{ et } \delta.$$

Comme la démonstration analytique de cette formule n'a pas encore été publiée, nous ne nous croyons pas autorisé à nous en servir, sans l'avoir vérifiée par un exemple au moins, appliqué à l'eau dont tous les éléments ont été déterminés avec tant de soins par M. Regnault.

Nous ne voulons nullement remplacer une démonstration par un exemple, mais une vérification numérique de cette nature aura le double avantage de montrer en détails l'emploi de cette formule et la coïncidence parfaite des résultats numériques.

Nous reprendrons cette question complétement dans un travail prochain qui n'est point encore terminé.

Prenons pour la vérification numérique de la formule les données suivantes tirées des tableaux de M. Regnault :

$t'° = 200$ degrés. $t = 82°$. P′ correspondant à $t°$ $= 11688{,}96$ millimètres de mercure. $\delta$ densité de la vapeur d'eau est donnée par la courbe des covolumes $= 0{,}62665$. $\lambda' = 464{,}3$ calories. $c - k$ d'après M. Regnault entre 200° et 82° $= 0{,}544$.

Nous avons ainsi choisi un écart arbitrairement assez grand car $t' - t = 118$ degrés.

On a comme formule numérique à calculer :

$$l\left(\frac{11688{,}96}{x}\right) = \frac{[464{,}3 + 0{,}544 \times 118]\ 431 \times 1{,}293 \times 0{,}62665 \times 274 \times 118}{10333\ [(274 + 200)^2 - (274 + 200)\ 118]}$$

En opérant les calculs par logarithmes, on arrive au résultat suivant :

| | | |
|---|---|---|
| log. numérateur | = 9,7747759 | |
| log. dénominateur | = 9,2414547 | |
| différence | 0,5333212 | |
| log. module | 0,3622157 | |
| | 0,1711055 | log. de 1,482871 |
| log. P′ | = 4,0677740 | |
| | 1,482871 | |
| | 2,5849030 | log. 384,51 millimètres. |
| $x$ | = 384,51 | |

Or si nous cherchons dans les tables de M. Regnault la tension de la vapeur d'eau correspondant à 82° on trouve qu'elle est égale à 384,435 millimètres.

Cet exemple suffit pour montrer que notre formule

représente avec toute exactitude la fonction qui lie la température aux pressions.

Nous avons le projet d'employer cette formule adaptée à l'acide sulfureux, pour remplacer toutes les indications des thermomètres à alcool. On aura de cette manière des thermomètres dynamomètres d'une exquise sensibilité qui remplaceront les données complétement aléatoires des thermomètres de toutes espèces, dès qu'on dépasse — 20° ou — 25°.

La réduction complète des laborieux calculs numériques qu'exige cette transformation n'est pas encore finie, car nous voulons obtenir quelques vérifications expérimentales sur les éléments peu connus des liquides volatils employés.

Nous sommes donc encore obligés de recourir dans une certaine mesure au thermomètre à alcool.

M. Salleron de Paris m'en a construit une dizaine gradués jusqu'à — 100°. Ce sont ceux-là dont je me suis servi.

J'ai trouvé que l'acide carbonique se transforme en vapeur sous la pression de 760 à une température de—80°.

Mais nos pompes produisent un vide presqu'absolu sur cet acide carbonique solide. Les thermomètres ne suffisent plus du tout pour connaître même approximativement la température que l'on amène ; il faut employer la formule thermo-dynamique.

Pour déterminer la valeur de $\lambda'$ pour l'acide carbonique à — 80° j'ai utilisé deux formules précédemment démontrées dans une publication déjà mentionnée [1]. La 1re est :

[1] *Archives des sciences phys. et nat.* Janvier 1876.

$$\lambda^{-80} = \frac{10333\,(274-80)^2}{1{,}293\,\delta \times 431 \times 274} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{Dérivée des pressions par} \\ \text{rapport aux températures.} \end{array} \right.$$

La seconde donne la valeur de cette dérivée que nous appellerons D, elle est :

$$D = \frac{0{,}041 \times 274}{274 - 80}$$

Effectuant les calculs numériques et substituant à D sa valeur, on trouve pour $\lambda^{80}$ :

$$\lambda^{80} = 96{,}766 \text{ calories.}$$

Nous avons pris pour la densité à 0° $\delta = 1{,}5241$ (Regnault). Une fois $\lambda'$ connu, nous avons calculé la courbe représentée dans la planche II au moyen de notre formule générale en donnant à $t$ une série de valeurs de 10 degrés en 10 degrés.

Les abscisses de cette courbe représentent les températures et les ordonnées les tensions correspondantes.

Si donc l'on connaît les pressions marquées au manomètre à mercure, lorsque l'on fait le vide sur l'acide carbonique on connaîtra, grâce à cette courbe, la température de ce corps. Il y a dans cette détermination bien des éléments que l'on ne connaît que par à peu près, bien des chiffres à corroborer avec des expériences directes, aussi ne donnons-nous cette mensuration des températures *que comme une première approximation.*

Voici le calcul pour la température — 120°.

$$\lambda' = 96{,}766 \text{ calories.}$$

$(c - k) = 0{,}1947$ déduit par des analogies de corps isomorphes.

lg. 104,554 = 2,0193407
lg. 1,5241 = 0,1830135
lg. 1,293 = 0,1115985
lg. 431 = 2,6344773
lg. 274 = 2,4377506
lg. 40 = 1,6020600

lg. Numérateur 8,9882406

lg. 10333 = 4,0142264
lg. $(194^2 - 194 \times 40)$ = 4,4753225
lg. $\frac{1}{m}$ = 0,3622164

lg. Dénominateur. 8,8517646
lg. Quotient = 0,1364760 log. de 1,36923
lg. 760 = 2,8808136
1,36923

1,5115836 lg. de $32^{mm},488$.

La pression correspondante à —120° est de 32,488 millimètres de mercure.

C'est au moyen de calculs identiques que la courbe A des tensions de l'acide carbonique a été établie.

Nous avons fait un travail absolument analogue pour le protoxyde d'azote.

Le résultat est donné par la courbe B calculée de 10° en 10°.

Nous avons pris comme point de départ —92° avec la pression barométrique de Genève, c'est-à-dire 730 millimètres.

C'est la température d'ébullition de ce liquide que j'ai observée directement.

Les deux courbes A et B montrent que le protoxyde

d'azote conserve des tensions plus fortes que l'acide carbonique.

On peut donc descendre avec le protoxyde d'azote à des températures plus basses qu'avec l'acide carbonique.

Nos pompes O et O′ qui aspiraient l'acide carbonique vaporisé dans le tube D (fig. 1) faisaient le vide à 9 millimètres. La pression oscillait entre 8 millimètres et 12 millimètres suivant la vitesse des pompes.

Nous pouvons donc admettre à *titre provisoire*, que *la température correspondant aux trois premières expériences faites avec l'acide carbonique était d'environ —130° et de —140° pour les deux dernières faites avec le protoxyde d'azote.*

On déduit de ces résultats que la tension maximum de l'oxygène liquide est

| | | | |
|---|---|---|---|
| —130° | Pression | 273 | atmosphères |
| —140° | » | 252 | » |

Une différence d'environ 10 degrés amènerait une élévation de pression de 21 atmosphères.

Telles sont pour le moment les conclusions numériques que ces premiers essais ont fournis.

Nous avons dit précédemment que le protoxyde d'azote nous a donné des pressions différentes de celles qui sont relatées dans les traités de physique. Voici comment nous nous en sommes aperçu.

En faisant nos études préliminaires qui ont décidé le dispositif mécanique employé, j'ai mis en regard les deux tableaux suivants donnant les tensions maxima de l'acide carbonique et du protoxyde d'azote; c'était pour déterminer lequel des deux liquides il fallait choisir pour obtenir le plus grand froid.

| Températ. | Acide carbon. | Protoxyde d'azote. | Différ. |
|---|---|---|---|
| — 87,2 | — | 1 atmosph. | |
| — 84,4 | — | 1,10 | |
| — 81,7 | — | 1,22 | |
| — 80 | 1 atmosph. | — | |
| — 78,9 | | 1,37 | |
| — 77,2 | 1,36 | | |
| — 76,1 | | 1,55 | |
| — 73,3 | | 1,77 | |
| — 70,5 | 2,28 | 2,03 | + 0,25 |
| — 67,8 | | 2,34 | |
| — 63,9 | 3,6 | | |
| — 62,2 | | 3,11 | |
| — 59,4 | 4,6 | 3,58 | + 1,02 |
| — 51 | 7 | 5,36 | + 1,64 |
| — 48,8 | 7,7 | | |
| — 48,3 | | 6,09 | |
| — 37,2 | | 9,74 | |
| — 36,6 | 12,5 | 9,91 | + 2,59 |

L'inspection de ce tableau montre que les pressions sont sensiblement les mêmes pour les deux liquides, cependant entre les températures —75° et —36°,6 les tensions du protoxyde d'azote *sont constamment inférieures à celles correspondantes de l'acide carbonique.* Cette raison me décida à employer d'abord l'acide carbonique qui devait, d'après ce tableau, donner sous le vide le plus grand froid.

En effet, la formule qui lie les tensions aux températures, montre que, si à une température quelconque un liquide possède une tension supérieure à celle d'un autre liquide à la même température, cette différence subsis-

tera très-probablement pour toutes les températures avec le même signe.

Comme les températures de —35° à —50° sont beaucoup plus précises que celles fournies par l'alcool à —75° et —80°, j'ai cru devoir attacher plus de confiance aux pressions indiquées à ces températures moins basses.

Mais lorsque dans les deux dernières expériences je remplaçai l'acide carbonique par le protoxyde d'azote pur, fabriqué au moyen du nitrate d'ammoniaque cristallisé, je trouvai pour ce corps des tensions *notablement supérieures* à celles de l'acide carbonique. Il y a donc eu une erreur manifeste dans les tableaux dressés il y a quelques années par Faraday et divers expérimentateurs.

Ces différences sont si marquées que j'ai cru un instant avoir une rentrée d'air qui augmentait la pression du gaz à la condensation.

Pour être sûr du contraire, j'ai condensé tout le contenu du gazomètre dans le tube S, puis je l'ai laissé distiller. Les vapeurs rentraient dans le gazomètre lentement. Après avoir opéré une purge abondante qui devait entraîner toute trace de gaz étranger, les pressions indiquées au manomètre correspondaient rigoureusement aux tensions maxima du protoxyde d'azote liquide.

La température indiquée par le thermomètre à alcool permettait de suivre degré par degré l'élévation progressive de la température, les pompes étant en arrêt.

Cette méthode présente l'avantage sérieux de permettre une observation de longue durée. La température indiquée au thermomètre est certainement égale ou très-légèrement supérieure à celle du protoxyde d'azote, de sorte que les indications du manomètre sont *dans tous les cas des minima.*

Voici le tableau que nous avons fait pour l'acide carbonique et le protoxyde d'azote :

| Température. | Acide carbon. | Protox. d'azote. | Différences. |
|---|---|---|---|
| — 92° | | 1 atmos. | |
| — 90° | | 1,10 | |
| — 88° | | 1,15 | |
| — 86° | | 1,35 | |
| — 84° | | 1,40 | |
| — 82° | | 1,72 | |
| — 80° | 1 atmos. | 1,90 | — 0,90 |
| — 78° | 1,15 | 2,12 | — 0,97 |
| — 76° | 1,33 | 2,36 | — 1,03 |
| — 74° | 1,55 | 2,60 | — 1,05 |
| — 72° | 1,78 | 2,85 | — 1,07 |
| — 70° | 2,08 | 3,15 | — 1,07 |
| — 68° | 2,41 | 3,50 | — 1,09 |
| — 66° | 2,71 | 3,80 | — 1,09 |
| — 64° | 3,10 | 4,20 | — 1,10 |
| — 62° | 3,45 | 4,60 | — 1,15 |
| — 60° | 3,90 | 5,05 | — 1,15 |
| — 58° | 4,40 | 5,50 | — 1,10 |
| — 56° | 4,90 | 6,10 | — 1,20 |
| — 54° | 5,46 | 6,32 | — 0,86 |
| — 52° | 6,10 | 7,05 | — 0,85 |
| — 50° | 6,80 | 7,63 | — 0,83 |
| — 48° | 7,40 | 8,30 | — 0,90 |
| — 46° | 8,05 | 9,00 | — 0,95 |
| — 44° | 8,72 | 9,60 | — 0,88 |
| — 42° | 9,45 | 10,30 | — 0,85 |
| — 40° | 10,25 | 11,02 | — 0,77 |
| — 38° | 11,00 | 11,70 | — 0,70 |
| — 36° | 11,90 | 12,50 | — 0,60 |
| — 34° | 12,70 | 13,19 | — 0,49 |

Ce tableau, dressé directement à la suite d'observations répétées, nous montre que le protoxyde d'azote a constamment des pressions supérieures à celles de l'acide carbonique, ce qui est d'accord avec les inductions théoriques que nous avons signalées.

Nous donnons ce tableau *in extenso*, car les pressions inscrites dans les ouvrages de physique sont espacées et correspondent à des températures trop écartées.

Nous tenions aussi à comparer directement et dans des conditions identiques l'acide carbonique et le protoxyde d'azote.

Le tableau général de nos expériences tel qu'il est relaté à la page 70 de ce mémoire nous fournit encore une preuve péremptoire de l'état liquide de l'oxygène.

En effet, pour trois expériences (les n^os^ 2, 4 et 5), le troisième jet d'oxygène fut très-court et je fermai presque subitement le robinet régleur.

Cette manœuvre permit à une petite quantité d'oxygène liquide de rester adhérente aux parois du tube.

L'évaporation rapide abaissa de quelques degrés la température des parois, pendant que les vapeurs formées s'échappaient par l'orifice du robinet de sortie. Au moment de la fermeture la pression était de 245 atmosphères dans la deuxième expérience. Quelques instants plus tard elle s'élève jusqu'à 253 atmosphères. Cette élévation de la pression, au moment où la production du gaz est terminée depuis longtemps, ne s'explique que si l'on admet qu'une petite quantité d'oxygène repasse de l'état liquide à l'état gazeux.

La conductibilité des parois de cuivre du tube est suffisante pour établir l'équilibre de température très-rapidement.

Dans les deux autres expériences la pression monta de 215 atmosphères à 213 et de 205 à 212 atmosphères.

*Solidification de l'oxygène.* — Dans les troisième et quatrième expériences nous nous sommes servi de la lumière électrique condensée par un réflecteur, pour examiner l'apparence des jets à la sortie de l'orifice.

Cette intense lumière nous a permis de distinguer nettement deux parties dans la veine fluide. Une portion centrale assez diaphane ayant 2 à 3 millimètres de diamètre et une périphérique ayant de 10 à 15 millimètres d'un blanc éclatant. Ces deux nappes concentriques ressemblaient à deux cylindres emboîtés l'un dans l'autre, l'extérieur paraissant être fait de poussière de craie ou de neige. Leur longueur avait environ 10 à 12 centimètres.

Nous avons cherché à nous rendre compte de la nature de cette substance blanche, à savoir si ce n'était peut-être pas de l'oxygène solidifié.

Nous nous sommes servi pour cette recherche de la polarisation. En examinant au moyen d'un prisme de Nicol, la lumière réfléchie à angle droit par rapport aux rayons incidents, on peut aisément distinguer si elle est polarisée ou non. Le réflecteur placé à 2 mètres de l'orifice du jet, envoyait sur l'oxygène des rayons horizontaux.

M. H. Dufour, professeur de physique à l'Académie de Lausanne, eut la complaisance d'examiner la lumière réfléchie par le jet, en se tenant de telle sorte que les rayons observés dans l'analyseur fussent émis normalement à l'axe du réflecteur parabolique.

Pendant le jet, le prisme de Nicol tournait entre les doigts de 90 degrés. Durant la rotation, M. Dufour saisit

distinctement une notable différence dans l'intensité de cette lumière, ce qui prouve qu'elle était, partiellement au moins, polarisée.

Cette expérience, qui doit être répétée plusieurs fois encore, porterait à faire croire que l'oxygène, au sortir du tube, se volatilise avec une telle énergie que les particules liquides sont transformées en petits cristaux solides, vraie poussière d'*oxygène gelé*. La chaleur de l'air ambiant retransforme presque instantanément ces cristaux en gaz.

Voilà dans leurs traits généraux les résultats de toute espèce que nous ont fournis ces expériences. Ils sont encore bien incomplets, et demandent à être vérifiés et surtout corroborés par d'autres recherches connexes. Il nous faut essayer de rendre cet oxygène liquide *visible* en le condensant dans des appareils transparents. Le problème est très-complexe, hérissé de difficultés pratiques; on doit empêcher le givre, qui se dépose de suite sur les surfaces froides et trouble leur transparence, on doit avoir des joints étanches avec des corps fragiles, etc., etc. Enfin nous lutterons et nous ferons notre possible pour tourner tous ces obstacles.

## V

### *Liquéfaction et solidification de l'hydrogène.*

Après avoir obtenu les résultats précédents avec le gaz oxygène, nous avons été naturellement conduit à opérer de la même manière sur l'*hydrogène*.

Tout le dispositif mécanique que nous avons employé

pour le premier gaz pouvait servir sans aucun changement pour le second.

Il suffisait de déterminer une méthode chimique bien précise donnant de l'*hydrogène pur*, sans eau, sans trace de gaz étranger, et laissant dans l'obus un résidu *non volatil*.

Ces deux conditions sont indispensables si l'on veut opérer avec precision et ne pas troubler les indications de l'expérience par l'introduction de facteurs dont il est impossible de mesurer les effets.

Pour ces motifs j'ai écarté les moyens reposant sur la décomposition de l'eau, soit par les métaux alcalins, soit par la pile, et je me suis arrêté au procédé suivant, sur le conseil de M. le prof. Monnier.

M. Berthelot, professeur à Paris, a démontré dans la synthèse de l'acide oxalique et de l'acide formique que, si l'on mélange du formiate de potasse avec de la potasse caustique on obtient, en chauffant le mélange à 225°, de l'hydrogène absolument pur sans trace d'eau, ni de substance étrangère.

Voici la formule qui explique la réaction :

$$4\ CHO^2K + 2\ KHO = C^2O^4K^2 + 2\ CO^3K^2 + H^6$$

Ajoutons un excès de potasse, la réaction suivante se formera :

$$C^2O^4K^2 + 2\ KHO = 2\ CO^3K^2 + H^2$$

Total pour l'hydrogène $H^8$.

Le résidu consiste uniquement en carbonate de potasse qui reste dans l'obus et n'est point volatil.

Les expériences préliminaires faites au laboratoire, me donnèrent des résultats très-satisfaisants.

La réaction marche très-régulièrement, sans soubresaut, et la température est fixe à 225°.

Voici la charge de formiate de potasse et de potasse que nous mîmes dans l'obus, lors de la première expérience faite le jeudi 10 janvier de 7 heures à 9 heures du soir :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Formiate | $CHO^2K$ | — | 1261 grammes |
| Potasse | KHO | — | 500 » |

Le tout fut préalablement chauffé à 150° pour chasser toute trace d'eau et donner une certitude absolue de la pureté du mélange.

L'obus lui-même fut chauffé à 150° pour éviter de toutes manières l'influence de l'humidité.

Ces préparatifs terminés, l'obus fut fixé à sa place et l'opération commença.

Les pompes à acide sulfureux condensèrent le protoxyde d'azote régulièrement comme dans les expériences précédentes, et bientôt le givre épais, qui apparut sur le manomètre à oxygène, nous indiqua que l'on pouvait activer la production de l'hydrogène.

Voici le relevé de mes notes prises pendant l'expérience :

8 h. 32′. Le givre est intense partout sur toute la canalisation de protoxyde d'azote.

La pression de l'hydrogène est de 50 atmosphères.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 8 h. 34′ | Pression | 60 | atmosphères |
| — 35′ | » | 70 | » |
| — 38′ | » | 80 | » |
| — 43′ | » | 90 | » |
| — 45′ | » | 92 | » |

La flamme du gaz est un peu baissée pour ne pas trop

chauffer les parois extérieures de l'obus et égaliser la température.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 8 heures | 47′ | Pression | 100 | atmosphères |
| — | 50′ | » | 112 | » |
| — | 52′ | » | 120 | » |
| — | 54′ | » | 140 | » |
| — | 56′ | » | 150 | » |
| — | 58′ | » | 170 | » |
| — | 59′ | » | 190 | » |
| 9 heures | | » | 200 | » |
| — | 1′ | » | 215 | » |
| — | 1′ 30″ | » | 225 | » |
| — | 1′ 45″ | » | 240 | » |
| — | 2′ | » | 260 | » |
| — | 4′ | » | 300 | » |
| — | 5′ | » | 340 | » |
| — | 5′ 30″ | » | 350 | » |
| — | 6′ | » | 370 | » |
| — | 6′ 15″ | » | 400 | » |
| — | 6′ 30″ | » | 450 | » |
| — | 7′ | » | 500 | » |
| — | 8′ | » | 550 | » |
| — | 9′ | » | 590 | » |
| — | 10′ 30″ | » | 640 | » |
| — | 11′ | » | 650 | » |
| — | 11′ 30″ | » | 652 | » |

La pression est presque stationnaire après avoir monté graduellement pendant 40 minutes ; j'ouvre le robinet de fermeture.

Le jet est éclairé par une forte lumière électrique.

Au moment de l'ouverture, on vit jaillir par l'orifice

de la lance *un jet opaque d'une teinte bleu-acier très-caractérisée.* La portion opaque avait environ 14 centimètres de longueur et un diamètre de 15 à 20 millimètres environ.

Au-dessous de cette partie bleue, non transparente, on distinguait nettement au travers d'un fort brouillard produit par la condensation vésiculaire de l'hydrogène, une zone blanchâtre, moins bleue que celle dont elle était la continuation et suffisamment translucide pour permettre de distinguer les objets fortement éclairés qui se trouvaient de l'autre côté.

Au même instant nous entendîmes un bruit strident, aigu, comparable à celui que produit une barre de fer rougie jetée subitement dans l'eau, puis simultanément un crépitement sur le sol très-caractéristique rappelant le son de grenaille projetée à terre.

Le jet, au lieu de rester continu comme cela se passait avec l'oxygène, devint intermittent, il ne s'échappait plus que par saccades hors du long tube.

Chaque projection était accompagnée du même crépitement dont nous venons de parler.

Après quelques secondes je fermai le robinet de réglage ; la pression était encore à 370 atmosphères.

Cette pression baissa progressivement jusqu'à 320 atmosphères, puis remonta lentement et durant plusieurs minutes jusqu'à 330 atmosphères.

A 9 heures 18′ je rouvris le robinet de fermeture.

Un jet extrêmement court sortit avec une violente projection de corpuscules solides, puis l'orifice quoiqu'ouvert ne laissa plus rien échapper.

Le manomètre marquait 315 atmosphères.

Voyant cet arrêt complet dans l'émission de l'hydro-

gène, nous conclûmes de suite que sa solidification s'était produite dans l'intérieur du tube.

Pour nous en rendre compte, je fis arrêter les pompes qui aspiraient les vapeurs de protoxyde d'azote et j'ouvris le robinet de réglage de manière à amener une condensation de vapeurs de protoxyde d'azote dans le tube D.

Cette manœuvre ayant fait remonter la température, la sortie de l'hydrogène reprit d'une manière intermittente et par décharges qui devenaient de plus en plus fréquentes; elles se suivaient toutes les demi-minutes et conservaient les apparences que nous avons signalées. Environ un quart d'heure après l'ouverture du robinet de réglage, la dernière décharge eut lieu et la pression revint au 0.

Nous pouvions vers la fin de l'expérience allumer le gaz qui sortait par l'extrémité de la lance entre les décharges; mais dès qu'une projection violente se produisait, la flamme s'éteignait.

Cette première recherche ne permet pas d'avoir aucune notion sur la densité de l'hydrogène, liquide ou solide, car les observations ne nous ont pas permis d'enregistrer des chiffres précis sur la quantité d'hydrogène conservé à chaque instant dans le tube. L'intermittence des décharges, la congélation partielle ou totale de l'hydrogène liquide, les variations du manomètre, toutes ces brusques modifications imprévues, ont mis du désarroi dans nos observations et nous devons les reprendre avec beaucoup de soin pour obtenir quelques chiffres définitifs.

Cette expérience permet cependant de considérer comme acquise la possibilité de liquéfier l'hydrogène sous une pression de 650 atmosphères et — 140°. Cette pres-

sion est dans tous les cas *supérieure* à la tension maximum des vapeurs d'hydrogène correspondant à — 140°.

Quant à la *solidification de l'hydrogène*, on pouvait non-seulement la prévoir, mais même la prédire d'avance à cause du faible poids atomique de ce corps.

On sait que les chaleurs latentes des liquides sont sensiblement en raison inverse du poids atomique des vapeurs qu'ils développent.

La formule exacte qui donne la chaleur latente ainsi que nous l'avons démontré est :

$$\lambda = \frac{10333\ (274 + t) \times 0{,}041}{1{,}293\ \delta \times 431}$$

dans laquelle $\delta$ correspond à la densité limite, c'est-à-dire au *poids atomique*.

$t$ est la température du point d'ébullition.

Or, si l'on applique cette formule à l'oxygène liquide et à l'hydrogène, on voit que les valeurs de $\lambda$ pour chacun de ces liquides, doivent être à peu de chose près dans le rapport des poids atomiques.

En effet ces deux liquides ont été obtenus à la même température de — 140° sous des pressions qui ne diffèrent pas considérablement l'une de l'autre. Les températures d'ébullition pour chacun de ces deux corps ne doivent pas être distantes de plus de 20 à 25° au maximum.

Ainsi en appelant $\lambda$ la chaleur latente de l'oxygène et $\lambda'$ celle de l'hydrogène, on doit avoir le rapport

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{(274 + t')\ \alpha}{(274 + t)\ \alpha'}$$

$274 + t'$ correspond à la température absolue du point d'ébullition de l'hydrogène et :

$274 + t$ est la température absolue du point d'ébullition de l'oxygène.

Le rapport des poids atomiques :

$$\frac{\alpha}{\alpha'} = 16.$$

donc il est *très-probable* que le rapport des chaleurs latentes soit :

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{(274 + t')\ \alpha}{(274 + t)\ \alpha'} > 10$$

c'est-à-dire que la chaleur latente de l'hydrogène est au moins 10 fois supérieure à celle de l'oxygène.

Si cette hypothèse est vraie, dès que le liquide condensé peut s'évaporer de nouveau, la quantité de chaleur absorbée par ce changement d'état est tellement considérable que le liquide restant est forcé de se congeler en se solidifiant.

En se basant sur le rapport des poids atomiques, un kilogramme d'hydrogène condensé absorberait plus de 2000 calories!

Il n'y a rien d'étonnant que l'expérience ait confirmé ce que les équations thermiques annonçaient comme très-probable et cette vérification est une preuve de plus à l'appui des bases sur lesquelles est fondée la théorie mécanique de la chaleur.

D'ici à quelques jours nous reprendrons de nouvelles expériences sur la liquéfaction de l'hydrogène et nous tâcherons de recueillir, les produits de la condensation afin de mieux les étudier. Il sera effectivement très-utile de constater l'apparence physique de ce corps que toutes les analogies font considérer comme un métal et qui semble bien en avoir revêtu le caractère dans l'expérience que nous venons de rapporter.

## VI

### *Conclusions.*

Il nous est impossible de terminer ce mémoire sans énumérer en quelques mots les conclusions que l'on peut tirer de ces expériences sur la liquéfaction des gaz, et sans rappeler les résultats très-semblables obtenus tout dernièrement par M. L. Cailletet à Paris.

Nous avons cherché à concilier les phénomènes principaux qui concernent les gaz, appelés permanents, avec la loi de Mariotte, la théorie de M. Clausius, les expériences de M. Regnault et celles de Natterer.

L'antagonisme apparent, qu'un raisonnement précipité faisait naître entre la loi de la cohésion et les principes de la théorie mécanique de la chaleur, disparaît entièrement en faisant intervenir un facteur nouveau qui est *la longueur d'oscillation calorifique.*

Dans les expériences de M. Natterer, que nous avons relatées au tableau du premier chapitre, on voit les pressions augmenter bien plus rapidement que ne l'indique la loi de Mariotte ; est-ce l'effet simplement de la dimension des atomes ou des molécules des gaz, ainsi que le dit M. Clausius ?

Non certainement, car si cette cause était la seule en jeu, l'écart devrait être très-peu sensible jusqu'à une pression assez élevée, suffisante pour mettre les molécules presqu'au contact, puis passerait brusquement à une valeur considérable que motiverait l'impénétrabilité de la matière.

Au lieu de cela, nous voyons les écarts de la loi de compressibilité des gaz augmenter progressivement, mais

sans secousse, et passer d'une valeur nulle à une valeur élevée pour les fortes pressions.

Cela nous indique clairement que la loi de Mariotte est rigoureuse pour les gaz, *tant que l'écart moyen des molécules est encore plus grand que la longueur d'oscillation calorifique correspondant à la température de ce gaz.*

Dès que cet écart devient égal à cette longueur d'oscillation, la pression croît plus vite que ne l'indique la loi de Mariotte, puisque la force du calorique s'ajoute à la pression des gaz. Si à ce moment on comprime encore le volume gazeux, on rencontre un obstacle de plus en plus puissant, car les vibrations calorifiques s'effectuent avec une intensité qu'aucune force ne peut maîtriser.

Les expériences faites sur la dilatation des solides et des liquides prouvent que ces dilatations se produisent avec une énergie supérieure à la cohésion moléculaire.

On arrive ainsi, dans la compression des gaz, à rencontrer des résistances aussi puissantes que celles qu'opposent les liquides et les solides.

Nous avons dit que les forces moléculaires de la cohésion devaient passer par une valeur particulière $k$ pour que l'état liquide puisse prendre naissance.

Cette valeur de $k$ est une fonction de la température égale pour tous les liquides.

Il est facile de se rendre compte physiquement de la nécessité d'une semblable condition :

Supposons un volume gazeux, à une pression quelconque, et admettons que la condensation liquide ait commencé.

Quels sont les caractères physiques particuliers de l'état de cette vapeur et de son liquide ? Évidemment le liquide *doit présenter une densité supérieure* à celle des va-

peurs et l'on doit distinguer la surface de contact qui les réunit.

L'augmentation de densité des vapeurs, au moment de la condensation, est une preuve du plus grand rapprochement des molécules; mais avant la condensation ces molécules ne s'attiraient-elles pas du tout?

Elles s'attiraient certainement, sans aucun doute; à chaque choc deux molécules se saisissaient par leur force d'attraction, mais la température et les vibrations calorifiques correspondant à ce travail élémentaire de condensation, les désagrégeaient de suite et empêchaient l'état liquide d'être stable.

En fait la cohésion moléculaire agissant d'une manière égale dans toutes les parties de cette masse gazeuse et nulle part *avec assez d'énergie pour rendre la condensation stable,* le gaz garde sa forme gazeuse.

Vient-on maintenant à augmenter le nombre des molécules gazeuses et à abaisser la température, la séparation va de suite s'opérer dans le milieu gazeux et le liquide se précipitera vers le fond du réservoir.

En effet, la puissance d'attraction ayant augmenté par le rapprochement plus grand des molécules et par la diminution de l'amplitude des oscillations calorifiques, lorsque deux molécules se seront soudées ensemble par la cohésion, elles ne trouveront plus les éléments dynamiques nécessaires pour se soustraire à cette influence qui deviendra définitive.

Dès cet instant la condensation s'opère sans arrêt et le liquide s'accumule dans le fond du condenseur.

Il y a donc nécessairement *une limite nettement tranchée* dans tout milieu gazeux qui se condense. Cette limite

correspond *au point critique* tel qu'on l'appelle aujourd'hui.

Au point critique l'attraction moléculaire est égale à *k* constante pour tous les liquides à la même température.

Les expériences que nous avons signalées tendent aussi à donner une preuve certaine du fait que tous les liquides passent forcément par l'état gazeux à une certaine température, *quelle que soit la pression et le volume* sous lesquels on les maintient.

Par une très-heureuse coïncidence, la plupart des phénomènes observés relatifs à la condensation des gaz permanents ont été dévoilés presque au même moment à Paris et à Genève.

Cette coïncidence a un double avantage, d'abord de donner un degré de certitude absolu aux phénomènes eux-mêmes, puis de démontrer que toutes les déductions logiquement enchaînées à la théorie mécanique de la chaleur trouvent une sanction complète, quand on les transporte du domaine purement spéculatif dans le domaine de la physique expérimentale.

M. Cailletet, au moyen d'une disposition des plus élégantes et d'une simplicité parfaite, a donné une preuve irrécusable de la liquéfaction des gaz permanents.

Ses expériences, antérieures aux miennes, sont basées uniquement sur l'influence thermique due à la détente des gaz. Elles peuvent se reproduire facilement et en présence d'un nombreux public.

En 1828, c'est-à-dire il y a juste 50 ans, M. le professeur D. Colladon, Membre correspondant de l'Académie des Sciences, fit à Genève de nombreuses tentatives pour arriver à liquéfier les gaz incoercibles et notamment

l'air atmosphérique. Son appareil représenté[1] à la planche III, était assez semblable à celui de M. Cailletet. Voici en deux mots le dispositif :

La pression était produite par une pompe hydraulique, elle se transmettait par une tubulure à vis *Cc* à l'intérieur et dans le haut d'un très-fort cylindre creux d'acier B, rempli partiellement de mercure.

Dans le cylindre *B* plongeait un tube en verre *T* ouvert par le bas et soudé à sa partie supérieure à un second tube *t'* en verre épais, dont le diamètre intérieur n'avait que 1,5 à 2 millimètres.

Le second tube sortait du cylindre *B* en traversant le couvercle allongé *A* auquel il était soudé à la gomme laque, on le pliait ensuite à la lampe d'émailleur, et son extrémité recourbée *t'* pouvait être refroidie et rendre la liquéfaction visible si on parvenait à la produire.

Les gaz expérimentés remplissaient tout le tube *T* au commencement de l'expérience.

M. le professeur Colladon a opéré avec des températures de — 30° et des pressions qui ont atteint 400 atmosphères, sans obtenir de résultat.

Malheureusement la théorie dynamique de la chaleur n'était pas encore connue, car sans cela, en ouvrant brusquement le robinet d'échappement de l'eau, la liquéfaction des gaz permanents aurait eu lieu depuis 50 ans.

M. D. Colladon nous a facilité notre travail par ses précieux conseils et nous lui en témoignons ici notre profonde gratitude.

L'étude que nous avons commencée dans ce mémoire

[1] Les pièces principales de cet ancien appareil existent encore, et sont conservées depuis plusieurs années dans les bureaux de la Société genevoise pour la construction des instruments de physique.

demande à être complétée par de nombreuses expériences. Il faut encore accumuler une foule de renseignements de toute nature pour donner aux résultats numériques une parfaite exactitude

Ce que nous espérons surtout, c'est que ce genre de recherches fera considérer l'emploi du *froid* dans les laboratoires de physique comme un moyen essentiel pour l'étude des forces moléculaires.

Qui sait, si les cristallisations et certaines réactions chimiques ne trouveront pas dans ces procédés des conditions particulièrement favorables?

Une des causes principales qui ont arrêté la plupart des expérimentateurs, c'est le manque de moyens mécaniques, trop dispendieux pour pouvoir être à la portée de tous.

Grâce à la *Société genevoise pour la construction d'instruments de physique*, j'ai eu à ma disposition un matériel mécanique d'une grande valeur et d'une grande précision d'exécution, que l'on peut estimer au moins à cinquante mille francs.

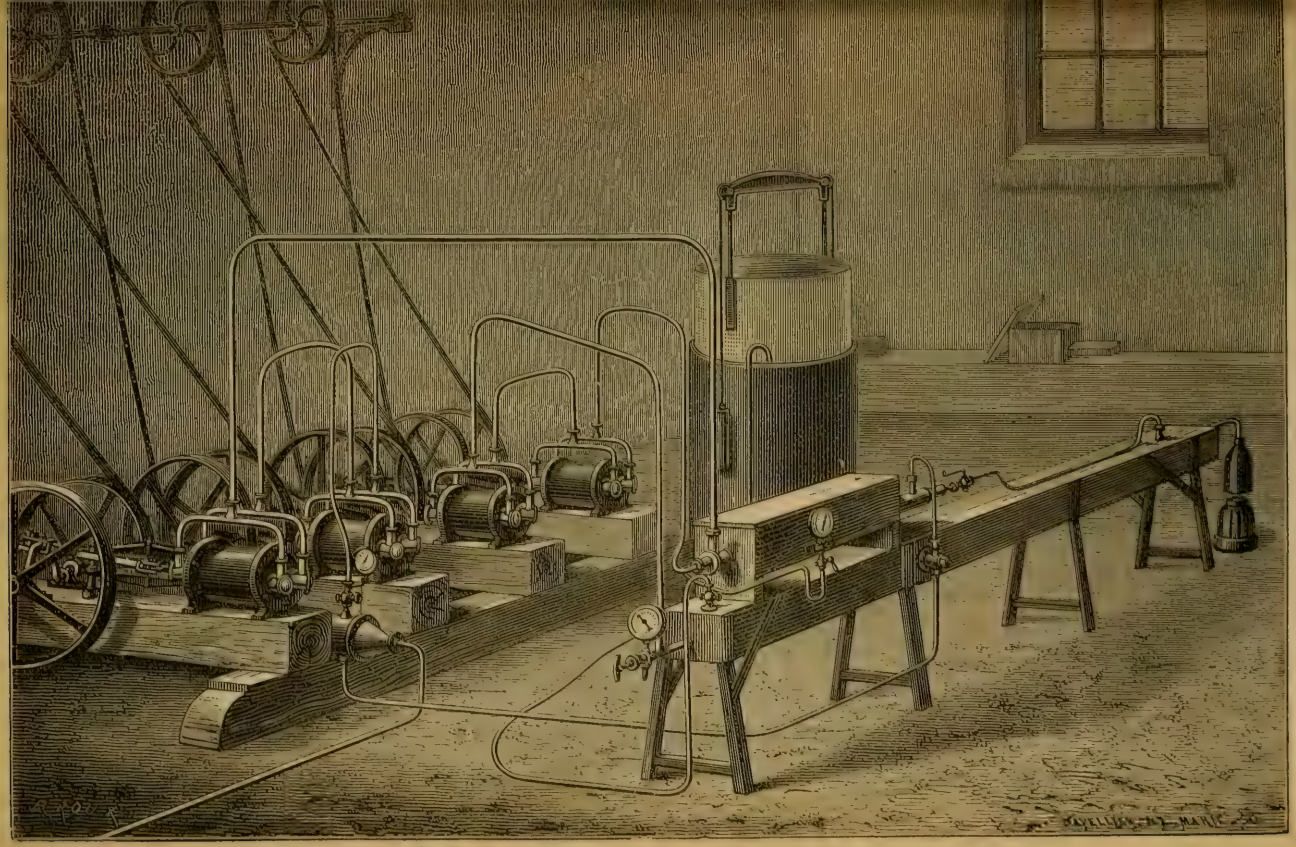
C'est uniquement par le fait de cette bonne fortune exceptionnelle que j'ai pu réussir dans ces recherches.

Il serait à désirer que les grands laboratoires aient à leur service des moyens analogues, ils faciliteraient mille travaux d'un intérêt incontestable et auxquels il faut renoncer faute d'instruments suffisants.

Nous compléterons ce mémoire dès que nos expériences nous auront fourni de nouveaux matériaux.

R. P.

---



Appareils de M. R. Pictet servant à la liquéfaction des gaz permanents.

# INDICES DE RÉFRACTION
# ORDINAIRES ET EXTRAORDINAIRES DU QUARTZ

POUR LES

## RAYONS DE DIFFÉRENTES LONGUEURS D'ONDE
## JUSQU'A L'EXTRÊME ULTRA-VIOLET

**Par M. Édouard SARASIN.**

---

(Communiqué à la Société de physique et d'hist. natur. de Genève, dans sa séance du 3 janvier 1878.)

L'étude des spectres ultra-violets a déjà été portée assez avant, grâce aux beaux travaux de MM. Éd. Becquerel, Stokes, Miller, Helmholtz, Mascart, Cornu et d'autres encore. La connaissance toujours plus précise de ces radiations invisibles permettra d'étendre la vérification des lois de l'optique entre des limites beaucoup plus éloignées. C'est ainsi que dans des recherches récentes nous nous sommes efforcés, M. Soret et moi, de pousser la mesure de la polarisation rotatoire du quartz bien au delà des limites entre lesquelles elle avait été faite avant nous, jusqu'aux radiations ultra-violettes les plus réfrangibles[1].

[1] Les *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. LXXXIV, p. 1362, 11 juin 1877, contiennent un extrait de ce travail qui sera bientôt publié *in extenso* dans les *Archives*.

Or, cette étude des spectres ultra-violets extrêmes ne peut guère se faire qu'avec des appareils d'optique à prisme et lentilles de quartz; car, comme on le sait, le quartz est transparent pour toutes les radiations, même les plus réfrangibles qui aient été observées jusqu'ici, tandis que les différentes espèces de verre absorbent la plus grande partie de ces radiations et que le spath d'Islande même n'est plus absolument transparent pour les dernières d'entre elles[1]. La connaissance des indices de réfraction du quartz pour ces différentes radiations est donc un élément essentiel à l'étude des spectres ultra-violets et à la construction des appareils destinés à les observer; or c'est précisément cette détermination que je viens d'exécuter et dont je vais exposer ici les résultats.

Divers physiciens ont déjà, il est vrai, mesuré l'indice de réfraction du quartz pour les principales raies obscures du spectre solaire : Rudberg pour les raies du spectre visible, ordinaire et extraordinaire comprises entre B et H[2], M. Esselbach de B à R pour le rayon ordinaire seul[3], enfin plus récemment, M. Mascart de A à P pour le rayon ordinaire, de A à R pour le rayon extraordinaire[4]. Pour les radiations plus réfrangibles les mesures faisaient complétement défaut jusqu'ici, et le but de ce travail est de combler cette lacune.

L'appareil dont je me suis servi est un goniomètre ordinaire à lunette et collimateur avec cercle divisé en $^1/_6$ de

[1] L'absorption exercée par le spath affaiblit déjà notablement la raie 26 du cadmium.

[2] *Pogg. Ann.*, 1828, t. XIV, p. 45.

[3] *Pogg. Ann.*, 1856, t. XCVIII, p. 541.

[4] *Annales scientifiques de l'École Normale supérieure*, 1864, tome I, p. 233 et suivantes.

degré permettant de lire les 10″ au vernier fixé à la lunette et portant un prisme de quartz mobile sur son limbe. Ce prisme est d'un quartz d'une très-belle eau et m'a été fourni par M. Hofmann, à Paris; il a été taillé par lui avec une grande précision, ses arêtes parallèles à l'axe de cristallisation du quartz, de manière à permettre l'étude des deux spectres ordinaire et extraordinaire. Son angle réfringent est de 60° 0′ 15″.

Pour l'observation des raies ultra-violettes, la lentille du collimateur et l'objectif de la lunette du goniomètre étaient en quartz, en outre cette lunette était munie du dispositif imaginé par M. Soret, sous le nom d'oculaire fluorescent[1]. La surface fluorescente était une lame de verre d'urane sur laquelle étaient gravés deux traits en forme de croix formant réticule. La lumière d'un bec à gaz réfléchie sur la face du prisme éclairait le champ de la lunette juste assez pour qu'on vît à la fois distinctement le réticule et la raie observée. Une lentille de quartz à court foyer (35$^{mm}$ dist. foc.) placée devant la fente du collimateur servait à concentrer sur elle les rayons de la source lumineuse.

La méthode que j'ai employée est celle que M. Baille a adoptée dans ses belles recherches sur les indices de réfraction[2], et qui consiste à mesurer pour chaque raie la déviation minima d'un côté d'abord, puis de l'autre en faisant tourner le prisme, ce qui donne le double de la déviation minima à l'aide de deux observations similaires et sans avoir de visée à faire sur la fente directement.

J'ai mesuré les indices de réfraction du quartz pour les principales raies de la lumière du cadmium telle qu'on

[1] *Archives*, 1874, t. XLIX, p. 338; et 1876, t. LVII, p. 319.
[2] *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, 1866, t. VII, p. 184.

l'obtient en faisant jaillir une forte étincelle d'induction entre deux pointes de ce métal. Le spectre de cette lumière a l'avantage d'avoir été déterminé avec soin par M. Mascart et de présenter des raies réparties assez également sur toute l'étendue du champ visible et ultra-violet. J'ai prolongé l'échelle de raies ainsi obtenue en observant au delà de la dernière raie du cadmium (26), trois raies d'abord, fournies par le zinc, observées par M. Stokes[1] et par M. Miller[2] (27) (28) (29), puis plus loin encore les trois raies extrêmes du spectre de l'aluminium (30) (31) (32) figurées par M. Stokes[3] et qui sont les radiations les plus réfrangibles qui aient été constatées jusqu'ici sans avoir encore fait l'objet de mesures précises. Pour ces dernières, toutefois, l'observation était très-difficile à cause de leur faible intensité et de l'impossibilité où je me trouvais de les amener exactement au point avec la lunette dont je disposais. Je ne donne donc leurs indices que comme une première approximation.

[1] Stokes. On the long spectrum of electric light. *Philosophical Transactions*, 1862, p 599; figure p. 606.

[2] W. A. Miller. On the photographic transparency of various bodies, and of the photographic effects of metallic and other spectra obtained by means of the electric spark. *Philosoph. Transact.*, 1862, p. 861.

[3] Dans un extrait de ce travail qui a été inséré dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (24 décembre 1877), il s'est glissé ici une erreur qui fait attribuer à M. Miller l'observation de ces raies extrêmes de l'aluminium, laquelle appartient à M. Stokes. M. Miller donne bien les trois raies 27, 28, 29 dans le spectre du zinc, mais il n'indique pas dans celui de l'aluminium les raies 30, 31 et 32 que M. Stokes avait figurées dans un travail antérieur au sien. Pour la désignation de ces raies j'ai suivi la numérotation des raies du cadmium prises comme base, ainsi que l'a fait M. Soret dans sa note sur les spectres d'absorption ultra-violets (*Archives*, 1877, tome LX, p. 298).

Dans le spectre du cadmium, je n'ai considéré que les raies dont M. Mascart a donné la longueur d'onde, encore je n'ai pas fait de mesure sur celle qu'il a désignée par le numéro 8 dans le spectre de ce métal et qu'il pense lui-même devoir être attribuée à l'air; elle est d'ailleurs assez faible et difficile à voir bien nette. J'y ai suppléé pour les radiations visibles les plus réfrangibles en mesurant les indices des raies solaires L et M qui avaient en même temps l'avantage de me donner pour cette partie du spectre un contrôle entre les résultats de M. Mascart et les miens. J'ai observé ces deux raies directement, sans emploi de l'oculaire fluorescent, et en prenant simplement la précaution d'éteindre les rayons moins réfrangibles par l'emploi d'un verre bleu interposé devant la fente du spectroscope. Enfin j'ai opéré aussi sur la lumière monochromatique du sodium afin de comparer mes résultats pour la raie D avec ceux qu'ont obtenus d'autres observateurs.

Les mesures qui ont été exécutées sur les raies visibles du cadmium, ainsi que sur la raie du sodium et les raies solaires L et M l'ont été avec un oculaire ordinaire. Elles n'ont presenté aucune difficulté, sauf pour les raies 2 et 3 qui sont très-voisines et pour L qui appartient à un groupe très-complexe. L'étude des raies ultra-violettes est rendue très-facile par l'emploi du spectroscope à oculaire fluorescent de M. Soret; à l'aide de cet appareil, on arrive à observer ces raies avec la même netteté et la même précision que les raies visibles. C'est ainsi que je suis parvenu à dédoubler très-bien la raie 28 *Zn* que M. Stokes donne comme simple. J'ai reconnu du reste que les radiations ultra-violettes sont visibles quoique beaucoup plus faiblement, même lorsqu'on adapte à la lunette du spec-

troscope un oculaire ordinaire, et cela à cause de la fluorescence très-intense qu'elles excitent dans le crown, surtout les raies 23 à 29[1].

Les deux spectres donnés par un prisme de quartz taillé parallèlement à l'axe se recouvrent en grande partie; le rouge de l'un tombe sur le violet de l'autre et les raies ultra-violettes des deux spectres qui ne se distinguent plus par la couleur, sont complétement entremêlées. Pour parer à cette difficulté, Rudberg, puis après lui M. Mascart disposaient devant la fente du spectroscope un polariseur qui éteignait tantôt le rayon ordinaire, tantôt le rayon extraordinaire. Cet artifice n'est point nécessaire et la différence de mise au point suffit amplement pour différencier avec la plus grande netteté des raies de l'un des deux spectres d'avec les raies immédiatement voisines de l'autre. Ainsi la raie 24 du spectre extraordinaire coïncide presqu'exactement avec la raie 26 du spectre ordinaire, mais celle des deux sur laquelle la lunette du spectroscope est pointée apparaît en trait brillant sur le champ étendu et pâle de l'autre[2].

Pour toutes les raies étudiées, sauf pour les trois de

[1] En effet, si on remplace la lame de verre d'urane du spectroscope à oculaire fluorescent par une lame de verre ordinaire, on voit ces raies à peu près avec la même intensité, et on les voit encore même lorsqu'on supprime complétement la lame, mais plus faibles et moins nettes, l'image fluorescente se formant alors sur la première lentille de l'oculaire qui n'est pas complétement au foyer de l'autre.

[2] Je n'ai pas pu cependant employer ce moyen pour séparer les raies 30, 31 et 32 ordinaires et extraordinaires parce que je ne pouvais raccourcir assez la lunette du spectroscope pour les mettre au point. J'ai eu recours alors pour l'observation des raies 30 à 32 ordinaires à l'emploi d'un prisme de quartz taillé perpendiculairement à l'axe et ayant un angle réfringent de 60° 14′ 0″.

l'aluminium, j'ai fait une première détermination approximative de l'indice ordinaire du quartz et en ai déduit la distance focale principale de la lentille de quartz du collimateur pour chacune de ces raies. J'ai fait ensuite la série des mesures définitives en amenant toujours le collimateur à la distance focale principale pour chaque raie. Ces mesures ont toutes été faites à une température voisine de 15° C.

Les résultats que j'ai obtenus de la sorte sont consignés dans le tableau qui suit. La première colonne de ce tableau contient la désignation de la raie, pour les raies du cadmium d'après la nomenclature de M. Mascart. La seconde donne la longueur d'onde correspondante, d'après Angström pour la raie D (moyenne entre les longueurs d'onde de $D_1$ et $D_2$), et d'après M. Mascart pour les raies du cadmium[1]. Les troisième et quatrième colonnes renferment les indices des rayons ordinaire et extraordinaire du quartz. Enfin la cinquième colonne donne pour chaque raie la différence entre ces deux indices, exprimée en unités de la cinquième décimale. Cette différence, on le voit, croit graduellement et très-régulièrement et c'est là une preuve en faveur de la précision des résultats. Sauf pour les trois raies extrêmes de l'aluminium, je crois pouvoir admettre que l'incertitude est moindre qu'une unité de la quatrième décimale.

[1] *Annales scientifiques de l'École Normale supérieure*, 1867, t. IV, p. 28.

| Désignation de la raie | | | Longueur d'onde | Indice de réfraction du quartz | | Différence entre les deux indices |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Rayon ordinaire | Rayon extraordinaire | |
| visible | | Cadm. 1 | 6437,0 | 1,54212[1] | 1,55124 | 912 |
| | | Sod. D | 5892,0 | 1,54419 | 1,55335 | 916 |
| | Cadmium | 2 | 5377,1 | 1,54655 | 1,55573 | 918 |
| | | 3 | 5336,3 | 1,54675 | 1,55595 | 920 |
| | | 4 | 5084,4 | 1,54825 | 1,55749 | 924 |
| | | 5 | 4798,6 | 1,55014 | 1,55943 | 929 |
| | | 6 | 4676,5 | 1,55104 | 1,56038 | 934 |
| | | 7 | 4414,5 | 1,55318 | 1,56270 | 952 |
| ultra-violet | | 9 | 3607,5 | 1,56348 | 1,57319 | 971 |
| | | 10 | 3464,5 | 1,56617 | 1,57599 | 982 |
| | | 11 | 3403,0 | 1,56744 | 1,57741 | 997 |
| | | 12 | 3287,5 | 1,57094 | 1,58097 | 1003 |
| | | 17 | 2743,4 | 1,58750 | 1,59812 | 1062 |
| | | 18 | 2574,2 | 1,59624 | 1,60713 | 1089 |
| | | 23 | 2318,3 | 1,61402 | 1,62561 | 1159 |
| | | 24 | 2265,6 | 1,61816 | 1,62992 | 1176 |
| | | 25 | 2217,1 | 1,62502 | 1,63705 | 1203 |
| | | 26 | | 1,63040 | 1,64268 | 1228 |
| | Alum. Zinc | 27 | | 1,63569 | 1,64813 | 1244 |
| | | 28[2] | | 1,64041 | 1,65308 | 1267 |
| | | 29 | | 1,64566 | 1,65852 | 1286 |
| | | 30 | | 1,6507 | 1,6641 | 1340 |
| | | 31 | | 1,6599 | 1,6741 | 1420 |
| | | 32[3] | | 1,6750 | 1,6891 | 1410 |

[1] Et non 1,54227 comme il s'est glissé par une erreur de copie dans ma note aux *Comptes rendus*.

[2] Milieu de l'intervalle des deux lignes brillantes qui forment la raie double 28.

[3] Milieu de la raie double.

Comme contrôle de la valeur de mes résultats, je comparerai ceux que j'ai obtenus pour la raie D avec ceux auxquels sont arrivés d'autres observateurs :

*Indices du quartz pour la raie D.*

| | Baille | Rudberg | Mascart | Sarasin |
|---|---|---|---|---|
| Indice ordinaire . . . | 1,544183 | 1,54418 | 1,54423 | 1,54419 |
| Indice extraordinaire. | 1,553277 | 1,55328 | 1,55338 | 1,55335 |

Je mets de plus en parallèle les résultats de M. Mascart et les miens pour les raies solaires L et M.

*Indices du quartz pour les raies L et M.*

| | Rayon ordinaire | | Rayon extraordinaire | |
|---|---|---|---|---|
| λ d'après M. Cornu | Mascart | Sarasin | Mascart | Sarasin |
| L 3819,6 | 1,56019 | 1,56014 | 1,56974 | 1,56982 |
| M 3726,8 | 1,56150 | 1,56149 | 1,57121 | 1,57117 |

Les résultats contenus dans le tableau ci-dessus sont la moyenne de 2, 4 ou même 6 observations doubles. Ils sont représentés graphiquement dans la planche IV, à l'aide de deux courbes dont les abscisses sont proportionnelles aux longueurs d'onde, les ordonnées aux indices de réfraction ordinaires et extraordinaires. La partie inférieure de la planche donne le spectre du cadmium à une échelle proportionnelle aux longueurs d'onde et prolongé par l'adjonction des raies extrêmes du zinc et de l'aluminium. La régularité de cette double courbe est aussi en faveur de la précision des résultats obtenus. Elle présente cependant deux écarts notables pour les points correspondants aux raies 12 et 25 du cadmium, lesquels tombent sensiblement en dehors de la courbe continue. Comme j'ai vérifié très-exactement les indices de ces deux raies, je crois pouvoir admettre qu'il s'est glissé une légère inexactitude dans la détermination de leurs longueurs d'onde lesquelles auraient été évaluées au-dessus de leur valeur vraie. Nous étions du reste arrivés à une conclusion analogue, M. Soret

et moi, dans nos recherches sur la polarisation rotatoire du quartz[1]. En prolongeant ces deux courbes *au sentiment* on peut arriver à une indication qui n'est évidemment que très-approximative, pour les longueurs d'onde des raies 26 à 32 qui n'ont point encore été déterminées; elles seraient à peu près les suivantes :

| | |
|---|---|
| 25 (corrigé) $\lambda$ = | 2190 |
| 26 . . . . . | 2134 |
| 27 . . . . . | 2087 |
| 28 . . . . . | 2038 |
| 29 . . . . . | 1992 |
| 30 . . . . . | 1947 |
| 31 . . . . . | 1868 |
| 32 . . . . . | 1755 |

En partant de cette valeur approchée pour la longueur d'onde de la raie la plus réfrangible observée jusqu'ici, on voit qu'il y a plus de deux octaves lumineuses entre elle et la raie A ($\lambda = 7606$).

Le résultat pratique qui ressort de ces mesures est la possibilité de déterminer immédiatement la distance focale d'une lentille de quartz donnée pour une radiation ultra-violette quelconque, pourvu qu'on ait mesuré préalablement sa distance focale pour une raie visible déterminée, par exemple D. Ces deux distances focales sont en effet entre elles dans le rapport $\frac{n_D - 1}{n - 1}$; $n_D$ et $n$ étant les indices du quartz pour la raie D et pour la raie considérée. Le tableau suivant donne la valeur de ce rapport pour les différentes raies ultra-violettes observées,

[1] *Comptes rendus* du 11 juin 1877.

c'est-à-dire le coefficient par lequel il faut multiplier la distance focale principale pour D afin d'obtenir la distance focale pour la raie correspondante.

| Raie | $\frac{n_D - 1}{n - 1}$ |
|---|---|
| 9 | 0,9657 |
| 10 | 0,9612 |
| 11 | 0,9590 |
| 12 | 0,9531 |
| 17 | 0,9262 |
| 18 | 0,9127 |
| 23 | 0,8863 |
| 24 | 0,8803 |
| 25 | 0,8707 |
| 26 | 0,8632 |
| 27 | 0,8561 |
| 28 | 0,8498 |
| 29 | 0,8429 |
| 30 | 0,8363 |
| 31 | 0,8245 |
| 32 | 0,8062 |

En terminant, je tiens à exprimer ma vive reconnaissance envers M. Soret qui a bien voulu m'aider de ses conseils et me prêter une partie des instruments dont j'avais besoin pour ces recherches.

# BULLETIN SCIENTIFIQUE.

## PHYSIQUE.

Du Bois-Reymond. Sur le téléphone. (*Verhandlungen der Physiologischen Gesellschaft zu Berlin*, 8 décembre 1877; traduction.)

Le téléphone a pour la physiologie du langage une importance qui n'a pas été jusqu'ici suffisamment mise en lumière; l'on n'a pas encore publié du reste la véritable explication de la manière dont il fonctionne.

C'est cette explication que nous allons donner ici le plus simplement possible, en supposant connue la construction du téléphone Graham-Bell.

D'après M. Helmholtz, nous distinguons un timbre particulier dans un son, parce que ce son résulte de vibrations élémentaires sinusoïdales dont les périodes et les amplitudes respectives sont différentes et déterminées. Et l'on n'a pas à considérer pour cela la position qu'occupent les différentes sinusoïdes sur l'axe des abscisses, ou la forme qui s'en déduit nécessairement pour la courbe résultante. Cette théorie a son origine dans la théorie des énergies spécifiques des nerfs sous la forme que lui a donnée M. Helmholtz, d'après laquelle un même filet nerveux ne permet de distinguer que des différences de quantité dans les impressions.

Dès que certains filets nerveux auditifs sont excités avec certaines intensités respectives, nous distinguons un timbre particulier quelles que soient les phases des sinusoïdes concordantes aux vibrations des extrémités de ces filets, qui coïncident dans le temps, ou comme l'on dit, quelles que soient les différences de phases de ces sinusoïdes.

Pour comprendre comment, en écoutant le téléphone B. on entend ce que l'on dit au téléphone A, il suffit donc de faire voir qu'une vibration sinusoïdale élémentaire du son qui ébranle l'air en A, se transmet à l'air qui entoure B, sous la forme d'une vibration élémentaire sinusoïdale, d'amplitude proportionnelle et de même période.

Le fait que sous l'influence des vibrations sinusoïdales de l'air environnant la membrane de fer de A exécute des vibrations semblables n'a pas besoin d'être expliqué. La petitesse des déformations de la membrane permet de regarder comme leur étant sensiblement proportionnelles, les variations qui en résultent pour le potentiel magnétique de la membrane et de l'aimant sur la bobine. Ainsi pour une vibration sinusoïdale déterminée de la membrane, ce potentiel varie avec le temps suivant une sinusoïde qui a même période et qui, par rapport aux autres sinusoïdes du même son a la même amplitude relative que la vibration considérée de la membrane et de l'air environnant. Soit $P$ ce potentiel, on a

$$P = \text{const. sin. } t.$$

Les variations de $P$ induisent dans la spirale des courants dont la force électromotrice est à chaque instant proportionnelle à $\frac{dP}{dt}$ Mais on a $\frac{dP}{dt} = \text{const. cos. } t.$ d'où résulte qu'à la sinusoïde du mouvement de l'air devant la membrane correspond dans le fil conducteur du téléphone un courant, qui, en faisant abstraction de l'induction du fil sur lui-même, est représenté dans le temps par une cosinusoïde, c'est-à-dire par une sinusoïde déplacée de $\frac{\pi}{2}$ sur l'axe des abscisses.

Ce courant provoque à son tour une variation de la puissance de l'aimant en B, variation qui, d'après des observations connues, est proportionnelle à la force du courant qui le produit. Elle provoque à son tour dans la membrane B et

l'air environnant des déformations qui lui sont encore proportionnelles, vu sa petitesse.

Ainsi toutes les vibrations sinusoïdales élémentaires qui constituent un son donné, se transmettent de l'une des membranes à l'autre avec leurs périodes et leurs amplitudes relatives, parce que d'après le principe fondamental de l'induction électrique, des vibrations sinusoïdales dans l'espace produisent des oscillations cosinusoïdales du courant dans le temps. Mais il faut bien remarquer que, par suite de cette transformation, les phases des différentes sinusoïdes qui coïncidaient jusqu'au moment d'exciter le courant d'induction, se trouvent ensuite complétement bouleversées, chaque sinusoïde étant déplacée d'un quart de sa longueur d'onde, en sorte que la forme de la courbe résultante pour l'air qui limite B, devient tout à fait différente de celle qui représente le mouvement de l'air en A.

On voit ainsi, que la possibilité de correspondre par le téléphone repose sur ces deux circonstances : premièrement, la forme particulière de la loi qui lie la force de l'induction à la variation du potentiel; secondement, le fait que le timbre est indépendant de la différence des phases des sinusoïdes qui composent le son.

Dans ses célèbres recherches sur la synthèse vocale, M. Helmholtz démontrait cette indépendance d'une manière assez compliquée, soit en désaccordant des diapasons pour obtenir des différences de phases, soit en renversant le courant dans l'électro-aimant de ces diapasons.

Une manière simple et très-claire de montrer cette vérité dans un cours, consiste à ébranler avec un archet deux diapasons de König donnant l'$ut_3$ et l'$ut_4$, et de faire taire brusquement le second. Le timbre passe alors subitement de *å* à *ou* : et cela d'une manière évidemment indépendante de la différence de phase, qui dans cette manière d'opérer ne peut pas se trouver deux fois la même. Mais on ne saurait trouver de preuve plus frappante en faveur de la théorie

de M. Helmholtz que le fait de la possibilité de transmettre le timbre par le téléphone.

Bien que nous n'ayons jusqu'ici parlé que des sons musicaux, qui seuls sont formés de sinusoïdes régulières, ce que nous avons dit peut cependant s'étendre avec une exactitude suffisante aux ébranlements irréguliers des bruits.

La théorie du téléphone, n'invoque donc aucun principe nouveau et le phénomène ne présente rien qui ne fût déjà connu. Les théories existantes auraient pu conduire au téléphone depuis longtemps et permettre de le construire à priori. Mais ce que personne n'aurait pu prévoir, et ce qui étonne toujours, même maintenant que le téléphone existe, c'est l'énergie avec laquelle ces actions se propagent. Cet exemple remarquable d'une double transformation de forces produisant une perte finale d'énergie mécanique aussi minime, montre encore une fois, ce que bien des faits indiquaient déjà, à savoir que dans la propagation d'actions moléculaires, il y a moins de force transformée en chaleur que dans la transmission du mouvement d'une masse à une autre lorsqu'elle est accompagnée de frottements.

Dans ces circonstances, il semble qu'il vaut la peine d'étudier autrement que par l'audition, les courants électriques dans le fil du télephone. Comme il s'agit de courants alternatifs, leurs actions sur l'aiguille aimantée doivent se détruire; mais l'électrodynamomètre de Weber serait propre à rendre sensibles ces courants, et à étudier leurs forces dans différents sons.

Il est encore un autre procédé permettant de reconnaître ces courants. Comme l'a montré M. R. Grossmann, les courants induits par les vibrations musicales d'un barreau aimanté, excitent une patte de grenouille galvanoscopique. Il est dès lors facile de provoquer aussi des secousses par les courants du téléphone. Il suffit, au lieu d'attacher les deux extrémités du fil aux vis de pression de B, de les mettre en communication avec celles du tube d'excitation mouillé, sur les électrodes duquel repose le nerf; alors la patte éprouve

des secousses aussitôt qu'on parle, chante ou siffle dans le téléphone A, ou même si l'on pose son embouchure un peu fort sur une table. On voit en même temps que le nerf est plus sensible pour certains sons que pour d'autres. Si on lui crie : *Zücke!* (contracte!) la patte de grenouille se met à bouger; sur le premier *i* de *Liege still!* (reste tranquille!) elle ne réagit pas. — Les sons qui ont des harmoniques caractéristiques basses agissent donc plus vivement que ceux qui les ont plus élevées, de même que dans l'expérience de M. Grossmann, le barreau vibrant transversalement autour de son milieu agit plus vivement que lorsqu'il présente des nœuds de vibrations.

---

## CHIMIE.

F. Krafft. Distillation de l'huile de ricin sous faibles pressions. (*Berichte*, X, 2034. Bâle.)

En distillant sous une très-faible pression l'huile de ricin, F. Krafft obtient d'abord de l'œnanthol, puis le thermomètre monte rapidement de 100° et il passe un acide de la série oléique dont la formule est $C_{11}H_{20}O_2$ et fond à 24°,5, son point d'ébullition sous une pression de 90$^{mm}$ est à 198°-200°. Fondu avec de la potasse caustique on obtient de l'acide acétique et de l'acide nonylique. En présence du brôme il s'additionne 2 atômes et forme un corps cristallin fusible à 38°, dégageant facilement de l'acide bromhydrique avec la potasse en dissolution alcoolique. D'après ces recherches il semblerait que l'acide de l'huile de ricin se dédouble par la distillation en œnanthol et ce nouvel acide

$$C_{18}H_{34}O_3 = C_7H_{14}O + C_{11}H_{20}O_2.$$

---

## ZOOLOGIE, ANATOMIE ET PALÉONTOLOGIE.

*Revue des travaux sur le pourpre de la rétine.*

F. Boll. Sull' anatomia e fisiologia della retina. (*Mem. dell'Accademia dei Lincei.* Rome, 1877, 25 p. in-4°, 1 pl. chromolith.). — Le même. Communication faite à l'Acad. des Sciences de Berlin le 12 novembre 1876 et le 11 janvier 1877. — Le même. Divers articles dans le *Centralbl. f. med. Wiss.*, 1877. — W. Kuhne. Ueber den Sehpurpur. Sur le pourpre visuel. (*Recherches de l'Institut physiol. de Heidelberg*, 1877, 89 p. in-8°, 1 pl. chromolith.).— Le même : Weitere Beobachtungen, etc. Nouvelles observations sur le pourpre visuel de l'homme (*Ibid.*, 5 p.).—Das Sehen ohne, etc. La vision sans pourpre visuel. (*Ibid.*, 20 p.).— Ueber die Darstellung, etc. Sur la production d'optogrammes dans l'œil de grenouille. (*Ibid.*, 17 p.). — Le même. Divers articles sur l'optographie et le pourpre rétinien dans le *Centralbl. f. med. Wiss.*, 1877. — A. Ewald et W. Kuhne. Untersuchungen, etc. Recherches sur le pourpre visuel. (1° Analyse de la couleur rétinienne, 82 p.; 2° Genèse de la couleur rétinienne, 43 p. (*Rech. de l'Institut physiol. de Heidelberg.*) — Stefano Capranica. Studii, etc. Etudes chimico-physiologiques sur les matières colorantes de la rétine. (*Mém. de l'Acad. dei Lincei.* Rome, 1877, 10 p. in-4°, 1 pl. chromolith.). — Helfreich. Ophthalmoscopische, etc. Communications ophthalmoscopiques sur le pourpre de la rétine. (*Centralbl. f. med. Wiss.*, 1877, n° 7.)—Adler. Sehpurpur, etc. Pourpre visuel dans l'œil humain malade ou blessé. (*Ibid.*, n° 14.). — Schenk et Zuckerkandl. Sehpurpur, etc. Pourpre visuel dans l'œil d'un pendu. (*Allg. Wien. Med. Zeit.*, 1877, n° 11.) Fuchs. Zur Farbe, etc. Couleur de la rétine. (*Wien. Med. Woch.* n° 10.).— Dietl et Plenk. Wahrnehmbarkeit, etc. Visibilité du rouge visuel à l'ophthalmoscope. (*Centralbl. f. med. Wiss.*, n° 16.). Schmidt-Rimpler. Sehroth, etc. Rouge

visuel chez un amaurotique et remarques sur la couleur ophthalmoscopique de la macula et du fond de l'œil. (*Ibid.*, n° 23.) — MICHEL. Zur Kentniss, etc. Contribution à la connaissance du rouge visuel. (*Ibid.*, n° 24.)—O. BECKER. Ueber die, etc. De la visibilité ophthalmoscopique du rouge visuel. (Séance de la *Soc. Ophthalmolog. de Heidelberg*, 1877, 19 août). — v. BEZOLD *et* ENGELHARDT. Fluorescence de la rétine. (*Centralbl. f. med. W.*)

M. *Franz Boll*, professeur à l'Université de Rome, a réuni dans le mémoire précité les résultats de ses recherches sur la coloration de la couche sensible de la rétine; recherches antérieures pour la plupart aux premiers travaux de M. Kühne dont nous avons rendu compte dans ces *Archives* (numéro de février 1877, p. 233).

La teinte rouge des bâtonnets de la rétine fraiche avait été remarquée dès 1843 par Krohn chez les céphalopodes, retrouvée plus tard par Henri Müller chez les grenouilles, puis notée comme un phénomène très-fugitif chez des amphibies et des crustacés par Leydig, Max Schultze et quelques autres observateurs. Il était réservé à M. Boll de reconnaître que la coloration rétinienne est une propriété générale des yeux de vertébrés et d'invertébrés et que cette coloration est modifiée par l'action de la lumière. Cette découverte est sans doute une des plus importantes qui aient été faites depuis longtemps sur l'organe et le sens visuel; elle a donné lieu à de nombreux travaux, au premier rang desquels brille, à côté de M. Boll, le nom de M. Kühne, professeur de physiologie à Heidelberg.

La grenouille est l'animal le plus approprié à la démonstration du rouge rétinien. Le microscope montre que la coloration réside uniquement dans les membres externes des bâtonnets, formés comme l'on sait, d'une superposition de fines lamettes discoïdes. M. Boll a trouvé qu'à la lumière diffuse du jour la rétine pâlit rapidement; elle prend alors une teinte jaunâtre et un aspect satiné, qui cessent bientôt pour

faire place à un stade plus long de transparence parfaite et d'aspect incolore. Enfin la rétine devenant trouble et opaque prend la teinte cadavérique blanchâtre connue de tout le monde.

Frappé du fait que le rouge vif des premiers instants ne se trouvait pas chez toutes les grenouilles également, malgré la rapidité toujours égale de la préparation, M. Boll fut amené à supposer que la couleur rétinienne devait être altérée par quelque autre cause encore que la mort et que cette cause pouvait bien être la lumière agissant sur l'animal encore vivant. L'expérience vérifia cette hypothèse : après une exposition prolongée des grenouilles au grand jour ou au soleil, le rouge rétinien manquait ; un séjour préalable à l'obscurité procurait des rétines bien colorées. Tandis qu'il faut un ou deux jours d'exposition à la lumière diffuse pour décolorer la rétine vivante, dix minutes y suffisent en plein soleil de Rome. M. Boll fut naturellement amené à admettre que la couleur des bâtonnets consumée par l'action de la lumière devait se reproduire par un phénomène vital. En effet sur les grenouilles éblouies pendant une heure, puis portées à l'obscurité, M. Boll put reconnaître des traces de rouge rétinien après moins d'une heure et demie, l'aspect rouge vif était rétabli au bout de deux heures. La prolongation de l'obscurité n'augmentait que fort peu l'intensité de la couleur. La rapidité bien moindre avec laquelle la rétine extraite de l'œil se décolorait sous le microscope pendant un temps couvert et brumeux, engagea M. Boll à étudier la part respective qui revient dans ce phénomène à la cessation de la vie et à l'action des rayons lumineux. Le résultat dépassa son attente : non-seulement chez des amphibies, des poissons, mais aussi chez des mammifères, il retrouvait la rétine rouge douze à vingt-quatre heures après la mort, pourvu que les cadavres eussent passé tout ce temps à l'obscurité. De même, le rouge rétinien se conservait intact pendant assez longtemps dans l'œil ouvert et même dans la rétine extraite de l'œil, pourvu que la dissection fût faite sous un jour très-faible ou à la lumière du gaz ou d'une bougie.

La coloration rouge est-elle due à une substance colorante propre imprégnant les membres externes des bâtonnets ou à un phénomène d'interférence, à une «couleur de lames minces » rendue homogène par la superposition régulière des très-fines lamelles, de réfraction, d'épaisseur et d'intervalles égaux qui constituent probablement les membres externes? Au début de ses recherches, M. Boll s'est posé cette question sans la résoudre, car les deux hypothèses rendaient également compte des phénomènes observés et se rattachaient d'une manière plausible à la physiologie de l'excitation des éléments rétiniens par la lumière. M. Boll trouva que la congélation suivie de dégel n'altère pas le rouge rétinien, que l'action de l'éther, du chloroforme et surtout de l'alcool détruit la couleur des bâtonnets, mais sans que le liquide en soit coloré. Dans les solutions de chlorure de sodium, la glycérine, l'eau distillée, la teinte se conserve pendant un certain temps; l'acide acétique la transforme en un jaune d'or intense. Mais M. Boll n'a pu obtenir avec aucune de ces substances une solution de matière colorante séparable des bâtonnets. Comme, en revanche, toute compression mécanique décolore la rétine, ces essais préliminaires parurent d'abord plus favorables à la théorie photophysique qu'à la théorie photochimique du rouge rétinien.

Ce problème n'en est plus un depuis les ingénieuses recherches de M. Kühne, qui après beaucoup d'essais infructueux avec divers réactifs, réussit à isoler la matière colorante des bâtonnets. M. Kühne a trouvé que la bile des mammifères, purifiée et délivrée de ses propres matières colorantes, dissout presque complétement la rétine et sa couche d'épithélium pigmentaire et que cette dissolution donne un liquide filtré coloré en rouge-carmin ; ce liquide est décoloré par la lumière, mais moins vite que la rètine même. M. Kühne fit aussi digérer dans la trypsine un certain nombre de rétines fraiches de bœufs abattus avec les yeux bandés. Cette substance dissout le rouge rétinien, et après une série de manipulations successives, M. Kühne obtint un résidu très-

réduit constitué uniquement par la matière colorante rouge-pourpre de la rétine, associée à une substance très-résistante, la névrokératine. Ce résidu se décolore rapidement à la lumière, aussi longtemps qu'il est humide. A l'état sec, il résiste à la lumière. La putréfaction même prolongée n'en altère pas la couleur.

La matière colorante des rétines de grenouille peut en être complétement extraite par une solution de chlorate de soude (à $^1/_{20}$). Le liquide filtré a l'apparence d'une solution de carmin; il pâlit presque instantanément au soleil, plus ou moins vite au jour diffus, suivant l'intensité de ce dernier. Par la dessiccation à 40° sur un verre dépoli, on obtient un vernis rouge-pourpre qui, même au soleil, ne pâlit que très-peu, mais se décolore rapidement dès qu'on y ajoute de l'eau.

L'action des différents ordres de rayons sur la rétine a été étudiée par M. Boll d'abord, puis par M. Kühne en suivant des méthodes d'observation différentes. M. Boll exposa d'abord au jour diffus, par un temps peu clair, des grenouilles renfermées dans des boites munies de verres de différentes couleurs et examina les rétines après différents intervalles de temps. Une deuxième série d'expériences semblables fut faite par un temps clair. Enfin il contrôla les résultats en faisant agir les différentes couleurs du spectre solaire pendant un temps plus ou moins long sur l'œil de grenouilles curarisées après dilatation de la pupille par l'atropine. Les deux méthodes donnèrent les mêmes résultats.

Après l'action de la lumière blanche du soleil, la rétine est incolore ; dans les rayons rouges, le rouge rétinien prend une apparence brunâtre, plus saturée et plus foncée qu'après l'obscurité. Dans la lumière jaune, la teinte devient rouge plus clair, puis jaunâtre en palissant. Elle devient rouge-pourpre, puis rose, enfin incolore dans le vert ; violacée d'abord, puis incolore dans la lumière bleue et violette, qui l'altère le plus rapidement. En résumé, les rayons à ondes plus courtes que le rouge rétinien modifient cette couleur dans le sens de la partie la plus réfringente du spectre, tout en la

pâlissant; les radiations situées en deçà du rouge paraissent la renforcer. Ces réactions dépendent aussi bien de l'intensité et de la durée d'action que de la longueur d'onde, par exemple une action courte et faible d'un ordre de rayons situé dans le bleu a le même effet que l'action prolongée d'une lumière verte intense.

Examinés au microscope, les membres externes des bâtonnets ont montré des modifications de couleur semblables à celles de la rétine vue dans son ensemble. Seulement M. Boll a trouvé qu'à côté des bâtonnets rouges, il y en a toujours chez la grenouille un petit nombre colorés en vert. La proportion de ces éléments verts, toujours en minorité d'ailleurs, a paru augmenter après l'action du vert et du bleu-violet.

Toutes les questions relatives aux proprietés optiques et photochimiques de la couleur rétinienne ont été étudiées avec beaucoup de soin par M. Kuhne, qui le premier expérimenta avec la rétine extraite de l'œil, puis reprises en détail par MM. Ewald et Kuhne. Ces travaux ont d'abord prouvé que cette couleur est bien du pourpre, car elle n'absorbe presque pas le violet et nullement le rouge, tandis qu'elle absorbe à divers degrés toutes les couleurs intermédiaires, surtout le vert et le vert-jaune. Sa complémentaire dans le spectre est un vert entre *E* et *b*. Aussi est-ce le jaune-vert qui altère le plus énergiquement la couleur des bâtonnets. La rapidité de l'action décolorante des diverses parties du spectre décroit dans l'ordre suivant : vert-jaune, vert, vert-bleu, bleu, indigo, violet, jaune pur, orangé; enfin viennent : ultra-violet et rouge, qui ne sont pas tout à fait inefficaces. En revanche, les teintes de transition (orangé, chamois, jaune pâle) par lesquelles passe la rétine avant de se décolorer entièrement, sont le plus vite détruites par le violet et l'indigo et résistent le plus longtemps au rouge pur, caractère qui leur est commun avec la couleur primitive. La flamme de soude, dont l'éclairage est si commode pour préparer la rétine sans la décolorer, ne la jaunit qu'après plusieurs heures et quand elle est très-intense.

Pour étudier l'influence des couleurs d'absorption, M. Kuhne s'est servi de solutions aqueuses de diverses substances colorantes, qu'il plaçait devant une flamme de gaz et dont il concentrait les rayons à l'aide de miroirs sur les rétines ou les yeux vivants.

Il fallait 16 à 24 heures d'éclairage rouge pour décolorer la rétine de grenouille, 72 heures pour celle du hibou. Le bleu au contraire décolorait la rétine en deux ou trois heures malgré son faible pouvoir éclairant. Le vert agissait plus lentement.

Poursuivant l'analyse du pourpre visuel par des méthodes toujours plus délicates, MM. Ewald et Kuhne ont examiné la couleur rétinienne intacte dans de la lumière blanche produite par le mélange de deux couleurs spectrales pures. Cette méthode permet de reconnaître les moindres nuances de couleurs, inappréciables même à l'œil le plus exercé. Dans le blanc résultant du couple rouge et bleu-vert, la rétine paraît rouge. Dans la lumière du couple violet et vert-jaune, elle est violette. Mais dès que l'action de la lumière commence, cet élément violet disparaît et la rétine n'est plus alors pourpre, mais rouge. Dans le blanc du couple orangé et bleu, dans le blanc résultant de jaune et indigo, la rétine intacte est grisâtre avec une trace d'orangé ou de jaune. Dans le pourpre, composé de rouge pur et violet, elle prend un éclat pourpré magnifique. Dans le faux pourpre (rouge pur et bleu) elle paraît d'un rouge criard.

Quand on dilue graduellement avec de l'eau une solution biliaire de pourpre rétinien, qui est violet foncé à l'état concentré, la couleur devient d'abord rouge carmin, puis rouge rosé, puis rose, enfin lilas clair. Soumise à la dessication elle parcourt la série inverse de saturation. Toute nuance jaune fait défaut tant que la lumière est soigneusement exclue. En mélangeant à diverses proportions la solution foncée avec une solution légèrement jaunie par la lumière, MM. Ewald et Kuhne ont démontré que les dégradations successives à la lumière (rouge, orangé, chamois) ne sont dues qu'à des

mélanges de jaune avec des restes du pourpre primitif en quantité variable. Si l'action lumineuse continue, le jaune se transforme en blanc. La série de décoloration de la substance est donc en réalité : pourpre (*rhodopsine*), jaune (*xanthopsine*) et blanc (*leucopsine*). Les expériences spectroscopiques ont abouti aux mêmes résultats.

Portées de l'obscurité dans l'ultra-violet, les rétines intactes de grenouilles répandent une lueur blanc-bleuâtre. Dès que le pourpre commence à se décolorer, la lueur devient blanc-verdâtre, comme la décrit Helmholtz. Cette vive fluorescence se remarque aussi sur les bâtonnets isolés de la rétine. Elle fournit un moyen extrêmement sensible pour déceler les moindres altérations de la rhodopsine, ainsi que pour reconnaître la leucopsine, résultat de sa décoloration complète, qui reluit en vert-blanchâtre. Dans les rétines humaines de sujets morts dans l'obscurité, la couche des bâtonnets est également la plus fluorescente, elle reluit en bleuâtre à l'état pourpré, en verdâtre à l'état décoloré.

L'action différente des divers ordres de rayons sur la rhodopsine et la xanthopsine a fait l'objet de recherches spéciales, soit à l'aide des couleurs pures obtenues par deux réfractions prismatiques successives, soit à l'aide de spectres d'interférence, où domine la partie rouge. Ces recherches ont confirmé les idées de M. Kuhne sur les trois états distincts de la substance colorante à l'obscurité et à la lumière. Les parties moyennes du spectre transforment rapidement la rhodopsine en xanthopsine, mais sont peu efficaces pour blanchir cette dernière. L'extrémité violette du spectre est très-efficace pour cette transformation ultime, mais n'agit que très-lentement sur le pourpre.

Quand, au lieu de couleurs simples, on fait agir sur la rétine des couleurs composées, on trouve que cette action dépend 1° de la somme des actions des composantes, 2° de l'action différente de chaque composante sur le pourpre visuel et sur le jaune visuel. Les mêmes phénomènes ont été observés sur les solutions de pourpre visuel, sauf qu'elles

parcourent les stades de décoloration encore plus rapidement que la rétine fraîche. Enfin des rétines vivantes de grenouilles curarisées, soumises aux mêmes expériences, ont pleinement confirmé les résultats précédents.

Voici les conclusions de ce travail : 1° Toute lumière visible décompose le pourpre visuel, mais à intensité lumineuse égale cette décomposition s'opère dans un temps très-variable, *proportionnel à l'absorption de la lumière monochromatique*, 2° Les longueurs d'onde qui transforment le plus rapidement le pourpre visuel en jaune visuel, agissent le plus lentement sur ce dernier; celles qui décolorent le plus facilement le jaune visuel et qu'il absorbe principalement, agissent en général moins sur le pourpre visuel.

Il ressort de tous ces faits que pendant la vie le pourpre rétinien doit être constamment consumé par la lumière qui pénètre dans l'œil, mais qu'il existe aussi dans l'état normal une cause constante de régénération de la couleur. C'est ici que se placent les découvertes de MM. Boll, Ewald et Kuhne, Capranica sur le rôle dévolu aux cellules de la couche pigmentaire comme productrices de matière colorante. M. Boll avait remarqué que cette couche se comporte différemment suivant les divers états physiologiques (ou photochimiques) de la rétine. Après l'action de la lumière rouge ou le séjour à l'obscurité, cette couche se séparait facilement du reste de la rétine, qui n'offrait alors au microscope aucune trace de pigment. Après l'action de rayons verts, bleus, violets ou de la lumière composée, elle y adhérait plus fortement, et des granules de pigment restaient toujours attachés à la couche des bâtonnets. L'examen d'yeux durcis dans l'alcool montra à M. Boll que dans le premier cas, les interstices des bâtonnets étaient toujours libres de pigment et que dans le second, d'épais cordons de pigment s'étendaient jusqu'à leur base dans ces interstices. D'autre part M. Boll avait remarqué que l'acide acétique change la couleur des bâtonnets des grenouilles en un jaune d'or, tout à fait semblable à la couleur des gouttelettes huileuses renfermées dans les cellu-

les du pigment rétinien. C'est ainsi qu'il fut amené à penser que la faculté régénératrice du rouge rétinien résidait dans ces cellules, dont les relations intimes, histologiques et embryogéniques avec la couche mosaïque de la rétine sont depuis longtemps connues. Portant alors son attention sur le contenu de ces cellules, il trouva que dans des yeux éblouis au grand jour, les gouttelettes huileuses étaient en partie d'un jaune plus pâle, en partie incolores, tandis qu'après le séjour à l'obscurité, toutes les gouttelettes montraient une teinte jaune doré intense. La relation supposée gagnait donc un haut degré de probabilité, de même que l'existence réelle de l'*érythropsine*. D'autre part les travaux de M. Kuhne relatés dans son premier mémoire (voy. ces *Archives*, février 1877, p. 235) ont établi que le contact avec la couche pigmentaire reproduit le pourpre rétinien, et que ce n'est pas le pigment brun qui importe à cet effet, puisque les phénomènes sont identiques chez les albinos.

Un jeune chimiste italien, M. *Capranica*, a étudié dans le laboratoire de M. Boll, la substance contenue dans les gouttelettes de la rétine de grenouille. Insolubles dans l'eau et les solutions alcalines, acides ou neutres, ces gouttelettes sont très-solubles dans divers alcools, dans l'éther, le chloroforme, la benzine, le sulfure de carbone. La solution dans cette dernière substance est rouge, les autres solutions sont jaunes. Elles offrent avec $SO_3$ concentré, avec $NO_5$ concentré et avec une solution iodée trois réactions caractéristiques. Les mêmes réactions s'obtiennent sur les gouttes jaunes ou rouges renfermées dans les bâtonnets des oiseaux et des reptiles ; ces gouttes sont solubles dans les mêmes liquides. Leur solution au sulfure de carbone se distingue également par sa teinte rouge vif.

M. Capranica a soumis à l'examen spectroscopique les solutions de nombreuses rétines de poulet, de grenouilles et de lézards. Il a obtenu des stries d'absorption caractéristiques, un peu différentes pour les solutions alcooliques (jaunes) et les solutions au sulfure de carbone (rouges).

Qu'elles proviennent de l'un ou de l'autre de ces animaux, ces solutions éteignent à l'état concentré, les deux extrémités du spectre, mais les solutions rouges absorbent l'extrémité rouge jusqu'au vert (entre *D* et *E*) tandis que les solutions jaunes laissent passer la plus grande partie du rouge, l'orangé, le jaune et une partie du vert. Les solutions alcooliques diluées donnent à la lumière solaire ou magnésienne deux raies d'absorption caractéristiques, l'une à la limite du bleu et du vert (en *F*) l'autre plus large entre *F* et *G*. Les solutions sulfo-carburées présentent le même spectre d'absorption, sauf que les deux raies sont un peu déplacées vers l'extrémité rouge du spectre. Toutes ces solutions se décoloraient à la lumière du jour, même dans le vide et conservaient leur couleur à l'obscurité, mais la décoloration n'avait lieu que dans la portion la plus réfrangible du spectre, à partir de *D*. Dans la lumière rouge, la couleur jaune ou rouge restait intacte.

Un fait très-remarquable c'est que M. Capranica a trouvé de grandes analogies entre ces substances rétiniennes et la lutéine, matière colorante du jaune d'œuf, du sérum sanguin, du beurre, du tissu adipeux et des corps jaunes des ovaires des mammifères. M. Hoppe-Seyler le premier avait attribué à l'action de la lumière la décoloration observée sur les cristaux de lutéine opposés à l'air. M. Capranica a trouvé la lutéine, surtout celle des ovaires de vache, encore plus sensible à la lumière que la substance colorante jaune du pigment rétinien. Du reste, les réactions et les spectres d'absorption sont les mêmes. Le sulfure de carbone donne aussi à la lutéine une couleur rouge qui rappelle celle des bâtonnets. Cette substance est toujours associée dans l'organisme à des corps gras dont elle est très-difficile à séparer. Plus elle est débarrassée de graisse, plus elle est sensible à la lumière.

On trouverait donc préformée au sein de l'œuf, avant même que l'embryon se développe, la matière destinée à colorer un jour la rétine et à la rendre chimiquement sensible

aux rayons les plus réfringents de la lumière. Suivant cette hypothèse, l'érythropsine (Boll) dériverait de la lutéine de l'œuf, dont elle se distingue par une sensibilité photochimique plus grande, différence qu'expliquera peut-être une connaissance plus intime de la nature chimique de ces substances.

Dans leur dernière publication, MM. Ewald et Kuhne se sont livrés à une étude approfondie des questions relatives à la formation et à la regénération de la couleur rétinienne. Il paraît d'abord exister dans les bâtonnets mêmes une subsubstance propre à reproduire, sans intervention de l'épithélium, une couleur au moins voisine de leur couleur primitive. Car ces auteurs ont constaté que des rétines décolorées au soleil, mais entièrement dépourvues de restes pigmentaires (qu'on obtient aisément en réchauffant les grenouilles à 30° après le séjour à l'obscurité et avant l'insolation) reprennent à l'obscurité une teinte d'abord jaune, puis rose ( = pourpre blanchâtre) au bout de quelques heures. Cette faculté de régénération spontanée n'est pas abolie par des lavages dans la glycérine ou la solution concentrée de Na Cl, et persiste pendant plusieurs jours, tout en s'affaiblissant. Elle consiste donc dans un processus physicochimique indépendant de la vie.

Une régénération complète du pourpre visuel n'a lieu que par l'épithélium ; les essais avec une foule d'autres tissus de l'organisme ont démontré que l'épitélium rétinien jouit seul de cette propriété. Lorsqu'il est resté adhérent à la rétine extraite de l'œil (ce qui est toujours le cas chez les grenouilles tenues dans l'eau glacée) l'épithélium retarde la décoloration des bâtonnets par la lumière et régénère leur couleur après la décoloration. Toutefois son action régénératrice est alors moins énergique que lorsqu'il est resté à sa place normale au fond de l'œil énucléé. Elle ne persiste que peu de temps après la mort et cesse rapidement par une température d'été. En revanche l'action de l'épithélium vivant est

assez forte pour rendre le pourpre à des rétines mortes (ramollies, lavées au sel etc.) et privées d'auto-régénération.

La solution biliaire concentrée de bâtonnets sans épithélium et sans pigment jouit aussi d'une faculté d'auto-régénération à l'obscurité, mais la régénération est incomparablement plus énergique et plus rapide et peut se répéter un grand nombre de fois, quand les rétines dissoutes étaient pourvues de leur couche pigmentaire (solution mixte). Après que la solution pure des bâtonnets eut perdu toute faculté d'auto-régénération, l'addition d'une certaine proportion d'une solution mixte déjà plusieurs fois décolorée lui rendit à l'obscurité une belle teinte rose.

Le mode de régénération est différent, suivant que la rétine a été décolorée par la lumière hors de l'œil ou sur l'animal vivant. Dans le premier cas elle passe par le jaune et le rouge avant de redevenir pourpre. Dans le second elle passe par le lilas et le rose qui sont des nuances blanchâtres du pourpre. Cette différence paraît tenir à ce que la couleur dans la rétine extraite de l'œil se régénère par transformation du blanc visuel, tandis que le pourpre de la rétine vivante lui est fourni par l'épithélium. L'épithélium est, d'ailleurs lui aussi, sensible à la lumière, en ce sens que sa faculté régénératrice après la mort est affaiblie par l'influence de cet agent avant la mort.

MM. Kuhne et Ewald s'élèvent contre le rôle que MM. Boll et Capranica font jouer aux gouttelettes des cellules épithéliales dans la proportion du pourpre rétinien de la grenouille. Une partie de ces gouttelettes est constituée par un corps gras jaunâtre et ne se distinguent en rien de gouttelettes analogues d'autres parties du corps. Elles sont faiblement décolorées par la lumière, mais cette propriété leur est commune avec une foule de matières organiques colorées. D'autres gouttelettes, qui sont incolores et dont la proportion est très-variable, ne se dissolvent que dans la bile et rappellent par leurs réactions micro-chimiques la substance des membres externes des bâtonnets dont elles paraissent plutôt être un

dérivé. Il est certain que le pourpre rétinien se forme aux dépens d'une matière incolore, insoluble dans tous les liquides, sauf la bile, et élaborée dans l'épithélium, mais le rôle des diverses parties élémentaires de l'épithélium est encore hypothétique.

Notre connaissance du rôle physiologique de la rhodopsine n'est guère plus avancée que celle de son origine. Dès les premières communications de M. Boll, il parut évident qu'il s'agissait de faits de la plus haute importance pour la physiologie des sensations visuelles. Comme le dit ce savant, ses observations relatives aux membres externes des bâtonnets et aux cellules de l'épithélium pigmentaire ont démontré pour la première fois dans les organes des sens, des modifications matérielles de nature palpable s'accomplissant parallèlement aux états physiologiques par lesquels ils passent, au moment où l'excitant physique se transforme en mouvement nerveux. Mais les recherches concernant ces faits nouveaux ne sont pas encore assez avancées pour fonder une théorie objective de la vision. La signification des bâtonnets verts, constatés chez quelques animaux seulement, est encore à trouver, peut-être ne sont-ce que des états différents (usure, régénération?) d'une seule espèce de bâtonnets. D'autre part il n'a pas paru profitable à M. Boll d'admettre *à priori* l'identité essentielle des faits observés chez la grenouille avec ceux relatifs à la vision de l'homme. Cependant M. Boll croit que les phénomènes qu'il a découverts, surtout les modifications de la couleur rétinienne obtenus par les couleurs objectives, tendraient à infirmer la théorie de l'interprétation libre des impressions sensitives par l'âme (ou le sensorium) et sont plutôt favorables à la théorie de l'identité des signes sensuels venus de la périphérie et de l'impression centrale qu'ils déterminent. Un grand nombre de faits dans la physiologie des organes des sens, pourraient, d'après M. Boll, se résumer dans la conception suivante : « L'action des différents « agents, tels que la lumière et la couleur, les ondes acous- « tiques, la chaleur, les substances sapides, produit dans les

« organes terminaux des nerfs sensitifs certaines altérations « objectives, identiques au contenu des sensations et des « idées subjectives qui sont provoquées par ces altérations. »

Ces généralisations hardies qui s'expliquent par l'enthousiasme des premières découvertes, paraîtront peut-être prématurées, en regard des difficultés inhérentes aux questions de ce genre et des objections soulevées par les travaux subséquents.

Un des obstacles principaux qui s'opposent encore à tirer de ces faits des conclusions physiologiques positives, c'est que l'on n'a pas trouvé, du moins par les méthodes employées jusqu'ici, de coloration propre dans les cônes de la rétine. Or on sait que chez beaucoup d'animaux doués d'une excellente vue (oiseaux diurnes, ophidiens) les cônes sont prédominants, et que chez l'homme et les mammifères supérieurs, la région de la rétine douée de la sensibilité la plus exquise non-seulement pour la distinction des formes et grandeurs, mais aussi pour les impressions colorées, n'a que des cônes, et pas de bâtonnets. M. Kuhne, qui a recherché le rouge rétinien chez une foule d'animaux de diverses classes, n'a jamais pu trouver des cônes colorés. Quant aux gouttelettes de couleur que renferment les cônes chez certaines espèces, elles ne sont pas sensibles à la lumière. La teinte pourprée paraît se retrouver sur les bâtonnets dans toute la série animale. Mais cette règle n'est pas sans exception. Nos écrevisses d'eau douce, pour ne citer qu'un exemple, ont de gros bâtonnets colorés non en rouge-pourpre, mais en violet, et cette couleur, d'après les essais nombreux et variés de M. Kuhne, résiste pendant des heures à la lumière blanche ou monochromatique la plus vive, ainsi qu'aux effets de la putréfaction de l'animal en plein soleil. La solution biliaire de cette substance violette est également dépourvue de sensibilité photochimique.

Chez l'homme, le rouge rétinien a été retrouvé par plusieurs observateurs, soit dans des yeux de malades décédés à l'abri de la lumière, d'individus morts de mort violente (pen-

daison) ou de fœtus de 7 à 9 mois, soit dans des yeux fraîchement énucléés sur le vivant. Mais M. Kuhne a constaté plusieurs fois que dans une zone de largeur notable vers son bord antérieur, zone encore assez riche en bâtonnets, la rétine humaine n'était pas colorée. D'autre part, un observateur très-compétent, M. Michel (d'Erlangen) a trouvé la rétine incolore dans un œil encore doué de vision, énucléé pour cause de maladie, avec toutes les précautions propres à conserver la couleur des bâtonnets.

Dans la *macula lutea* de l'homme et du singe, on n'a pas trouvé trace de rouge rétinien, à l'exception de M. Horner qui a vu cette région rouge pendant un instant sur un œil énucléé. Faut-il supposer que les cônes possèdent une matière colorante plus ténue, douée d'une excessive sensibilité et partant plus destructible que celle des bâtonnets, et qui serait encore à trouver? ou doit-on conclure que les modifications photochimiques qui accompagnent l'acte visuel dans les bâtonnets, loin d'être une condition essentielle de l'excitation rétinienne, n'en sont qu'un phénomène concomitant ou même accessoire?

Dans son travail intitulé : *La vision sans pourpre visuel*, M. Kuhne avoue que l'hypothèse de l'excitation photochimique, malgré tout ce qu'elle a d'engageant et même de probable, a pour le moment plus besoin d'adversaires que d'amis, afin de n'être pas prise pour une solution quand elle n'est encore qu'un problème. Il y aurait, selon lui, une autre hypothèse possible : le pourpre rétinien ne serait qu'une des nombreuses substances douées de la propriété d'absorber la lumière colorée, que l'on trouve dans les yeux de toute la série animale. Il ne lui resterait alors d'autre fonction que d'*adapter* d'une façon particulière les éléments sensibles de la rétine aux diverses couleurs objectives. La transformation jaune, que subit toujours le rouge rétinien avant d'être décoloré, et l'action inégale des divers ordres de rayons sur cette teinte de transition pourraient produire une grande variété dans le fonctionnement de cette espèce d'écran coloré.

La coloration des bâtonnets ne paraît pas indispensable à la vision. M. Kuhne s'est assuré par de nombreuses expériences, que les grenouilles voient très-bien immédiatement après une insolation prolongée, qui pourtant décolore entièrement leurs bâtonnets. Par exemple elles exécutent parfaitement les sauts de précision nécessaires pour happer une mouche, et qui seraient impossibles sans une vision très-nette. M. Kuhne est allé plus loin encore. Dans des séries d'expériences très-ingénieuses, toujours contrôlées avec des grenouilles aveugles, ce savant a établi les faits suivants :

1° Les grenouilles sont avant tout amies de l'ombre; si cependant on leur ôte toute possibilité de se mettre à l'ombre et qu'on les place au soleil en les protégeant contre son action calorique, par exemple par irrigation continue, elles regardent le soleil en relevant la tête et restent dans cette position, qu'aucun œil humain ne supporterait; elles n'essaient pas même de se cacher les unes derrière les autres, ni de protéger leurs yeux par la membrane clignotante. Dans les mêmes circonstances, des grenouilles aveuglées prennent n'importe quelle position, sans se soucier de la direction des rayons solaires qui viennent les frapper. Les grenouilles sont évidemment attirées et captivées par la lumière, comme tant d'autres animaux, mais sans qu'elle nuise en rien à l'excellence de leurs yeux.

2° Les grenouilles ont un sens des couleurs très-développé et montrent en général une prédilection marquée pour le vert. A égalité d'intensité lumineuse (contrôlée par exemple par l'action sur le pourpre de rétines fraîches) et même encore pour une intensité de vert un peu plus forte, elles quittent la lumière bleue et vont se placer, même au prix d'efforts et d'incommodités considérables, sous les rayons verts. Ces expériences ont été faites avec des verres de couleur contrôlés au spectroscope. Les résultats furent exactement les mêmes avec des grenouilles ensoleillées qu'avec celles qui avaient été tenues dans les conditions d'éclairage ordinaire. Par contre, chez des grenouilles tenues à l'obscu-

rité et placées aussitôt après sous les verres colorés, on remarque une certaine hésitation, et il faut quelques minutes de plus pour que toutes se trouvent réunies dans la lumière verte; elles se comportent comme si l'excès de sensibilité photochimique acquis à l'obscurité rendait leurs yeux plus sensibles aux différences d'intensité lumineuse qu'aux différences de couleur. Ces expériences démontrent d'une façon évidente que, chez les grenouilles du moins, le pourpre rétinien n'est pas plus nécessaire à la perception des couleurs qu'à celle des formes et des grandeurs.

Une autre question qu'a fait naître la découverte de M. Boll, c'est l'origine de la couleur rouge dans laquelle apparaît, à l'ophthalmoscope, le fond de l'œil de l'homme et des animaux supérieurs. Jusqu'ici on l'avait attribuée au sang qui circule dans les réseaux vasculaires très-serrés de la choroïde. En outre le pigment de l'épithélium rétinien et celui du stroma de la choroïde, doivent influer sur la teinte apparente du fond de l'œil (v. Jäger), ainsi que l'espèce de lumière employée pour l'éclairer. Dans quelle mesure la couleur propre de la couche postérieure de la rétine participe-t-elle à cette coloration rouge vif uniforme du fond de l'œil? Divers faits normaux et pathologiques empêchaient d'admettre qu'elle en fût la cause exclusive ou prédominante. Les travaux encore peu nombreux qui se sont occupés de cette question font pressentir que la couleur de la choroïde et le rouge rétinien se combinent dans une certaine mesure pour produire la couleur du fond de l'œil, du moins dans les parties munies de bâtonnets. D'après M. Helfreich, l'action d'une vive lumière, limitée à l'un des yeux du lapin avant sa mort, fait disparaître dans cet œil la teinte chamois des interstices vasculaires qui se remarque dans l'autre œil; le fond de l'œil prendrait un aspect grisâtre et incolore, tandis que de l'autre côté, il reste d'un beau rouge assez longtemps après la mort. Les observations de MM. v. Bezold et Engelhardt, qui ont constaté directement la fluorescence de la rétine vivante en l'éclairant par les différents rayons du spectre, y compris l'ultra-violet, tendent également à prouver que la couleur

propre de la rétine influe pour une part sur la teinte apparente du fond de l'œil. Mais cette part ne doit pas être très-importante. Quand sur un lapin mort par hémorrhagie on injecte du lait pour remplacer le sang, le fond de l'œil paraît entièrement blanc (Dietl et Plenk). Et si, suivant la méthode de M. Kuhne, l'on imprime sur la rétine du lapin curarisé l'image d'un objet bien reconnaissable, on ne réussit pas à voir cet optogramme à l'ophthalmoscope, bien que l'autopsie de l'œil en démontre aussitôt la réalité et que les couches antérieures de la rétine soient tout à fait transparentes (Otto Becker). Le rouge de la choroïde éclairée par l'ophthalmoscope paraît donc prédominer de beaucoup sur le pourpre des bâtonnets, couche transparente extrêmement mince.

Le premier mémoire de M. Kuhne (voy. ces *Archives*, fév. 1877, p. 236) contenait le récit des premiers essais, par lesquels il avait cherché à fixer sur la rétine les altérations de couleur produites par l'image optique d'un objet lumineux. Le principe de l'*optographie rétinienne* était contenu dans les travaux de M. Boll, mais c'est à M. Kuhne que revient le mérite d'en avoir déterminé les conditions de réussite et développé les méthodes chez divers animaux.

M. Boll raconte qu'ayant placé une grenouille curarisée en face d'une fente lumineuse étroite, il trouva en disséquant l'œil, la rétine divisée par une bande incolore en deux moitiés colorées. M. Kuhne critique cette expérience qui, sous la forme indiquée, ne lui a jamais donné d'optogramme net, même avec une fente lumineuse étroite et en se servant de l'héliostat pour immobiliser l'image. La difficulté principale consiste dans l'adhérence déjà remarquée par M. Boll, de l'épithélium pigmentaire à la couche des bâtonnets, après l'action de la lumière. Plus l'éclairage était intense, plus l'on trouve les bâtonnets emprisonnés et dissimulés dans les prolongements des cellules pigmentaires; alors en enlevant la rétine, on voit au lieu de l'optogramme sa place se détacher en noir sur le fond pourpre. En revanche, après un éclairage modéré portant sur une place extrêmement petite (par exemple l'image d'une flamme de gaz éloignée) on obtient un

optogramme irréprochable, parce que la rétine peut être séparée complétement de la couche pigmentaire. M. Kuhne a aussi produit chez la grenouille curarisée des optogrammes nets à l'aide d'une plaque de verre dépoli, traversée de bandes noires équidistantes et éclairée par la lumière diffuse du ciel; cette expérience réussit le mieux par un temps couvert. Au bout d'une à deux heures, les parties éclairées de la rétine sont bien décolorées par l'action faible, il est vrai, mais non interrompue de la lumière. M. Kuhne a trouvé que dans ce cas les bâtonnets augmentent d'épaisseur et étranglent entre eux les prolongements pigmentaires, qui par suite se séparent facilement des cellules sous-jacentes. Les bandes claires alternant avec les bandes obscures donnent alors un optogramme que l'on peut étudier au microscope.

La production d'optogrammes d'une certaine grandeur est plus facile chez le lapin, surtout le lapin albinos. On détermine d'avance la distance à laquelle l'objet (par exemple la fenêtre avec ses barreaux) projette une image nette sur le fond de l'œil. Après un court séjour dans l'obscurité, la tête de l'animal curarisé ou décapité est exposée pendant quelques minutes aux rayons lumineux, puis les yeux sont rapidement ouverts et jetés dans une solution d'alun à $^1/_{25}$ qui rendra la rétine plus résistante et permettra le lendemain de l'extraire et de l'étaler sans déchirure à l'aide des manipulations imaginées par M. Kuhne. L'optogramme paraîtra en blanc sur le fond rouge de la surface externe de la rétine. Séchée à l'obscurité dans la cloche à $SO_3$ la préparation conserve sa couleur, même au grand jour, presque sans altération. Quand on la reporte à l'air ordinaire humide, le pourpre redevient sensible à la lumière et l'optogramme s'efface rapidement. Sur l'œil frais, le pourpre rétinien et ses modifications sont très-difficiles à observer à cause de la couleur du fond choroïdien. Les optogrammes réussissent mieux après la mort, parce que la régénération du pourpre est moins rapide que pendant la vie. Dr G. Haltenhoff.

---

# OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

## FAITES A L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

sous la direction de

**M. le prof. E. PLANTAMOUR**

## PENDANT LE MOIS DE DÉCEMBRE 1877.

---

Le 4, brouillard le matin.

8, violent coup de vent du SO. à 2 h. $^1/_2$ du matin, dans la nuit du 7 au 8; à 8 h. du matin le vent tourne au NO., et depuis midi jusqu'au lendemain à 4 h. après midi la bise souffle assez fortement.

14, faible gelée blanche le matin.

15, idem, forte bise tout le jour depuis 8 h. le matin.

16, forte gelée blanche le matin.

19, forte bise depuis 2 h. après midi jusqu'au 21 à la même heure; elle a été très-violente dans la nuit du 19 au 20, et le 20 dans la matinée, de même dans la matinée du 21.

23, à 8 h. soir, faible averse de grésil.

26, gelée blanche le matin; depuis 10 h. du matin jusqu'au lendemain à 4 h. après midi fort vent du SSO. Averse de pluie mêlée de flocons de neige.

29, neige dans la nuit du 28 au 29, hauteur de la couche à 6 h. matin 55$^{mm}$; depuis 8 h. matin, la neige se change en pluie, et la couche tombée disparaît rapidement.

30, brouillard le soir.

*Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.*

| MAXIMUM. | mm |
|---|---|
| Le 5 à 10 h. matin | 725,54 |
| 7 à 11 h. matin | 729,22 |
| 8 à 8 h. soir | 733,25 |
| 12 à 10 h. matin | 732,89 |
| 16 à 10 h. matin | 739,29 |
| 17 à 10 h. soir | 735,83 |
| 19 à 10 h. soir | 735,88 |
| 20 à 10 h. soir | 736,72 |
| 28 à 10 h. soir | 731,51 |

| MINIMUM. | mm |
|---|---|
| Le 1er à 8 h. matin | 713,98 |
| 6 à 6 h. matin | 723,79 |
| 8 à 6 h. matin | 726,60 |
| 10 à 2 h. après midi | 724,16 |
| 13 à 10 h. soir | 728,55 |
| 17 à 6 h. matin | 733,42 |
| 18 à 4 h. après midi | 733,62 |
| 20 à 6 h. matin | 732,93 |
| 26 à midi | 713,15 |
| 31 à 6 h. matin | 725,61 |

# GENÈVE. — DÉCEMBRE 1877.

| Jours du mois. | Baromètre. Hauteur moy. des 24 h. | Baromètre. Écart avec la hauteur normale | Température C. Moyenne des 24 heures | Température C. Écart avec la temp. normale | Température C. Minim. | Température C. Maxim. | Tension de la vap. Moy. des 24 h. | Tension de la vap. Écart avec la tension normale. | Fract. de saturation en millièmes Moy. des 24 h. | Fract. de saturation en millièmes Écart avec la fraction norm. | Fract. de saturation en millièmes Minim. | Fract. de saturation en millièmes Maxim. | Pluie ou neige Eau tomb. d. les 24 h. | Pluie ou neige Nomb. d'h. | Vent domi-nant. | Clarté moy. du Ciel. | Temp. du Rhône Midi. | Temp. du Rhône Écart avec la temp. normale. | Limnimètre à 11 h. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | millim. | millim. | 0 | 0 | 0 | 0 | millim. | millim. | | | | | mm. | | | | 0 | 0 | cm |
| 1 | 714,51 | —12,23 | + 4,24 | + 1,99 | + 2,1 | + 5,9 | 5,15 | +0,57 | 821 | — 29 | 660 | 950 | 0,9 | 2 | variable | 0,84 | +7,0 | — 1,0 | 122,9 |
| 2 | 719,65 | — 7,13 | + 4,83 | + 2,71 | + 2,9 | + 6,5 | 5,39 | +0,85 | 843 | — 8 | 710 | 980 | 2,4 | 4 | NNE. 2 | 0,83 | ... | ..... | 126,0 |
| 3 | 722,00 | — 4,82 | + 3,35 | + 1,35 | + 2,3 | + 5,1 | 4,62 | +0,12 | 810 | — 42 | 740 | 840 | ... | ... | NE. 1 | 1,00 | 7,4 | — 0,3 | 126,0 |
| 4 | 722,14 | — 4,72 | + 3,15 | + 1,27 | + 2,2 | + 4,0 | 5,12 | +0,65 | 906 | + 54 | 840 | 920 | ... | ... | SO. 1 | 1,00 | 7,4 | — 0,2 | 126,3 |
| 5 | 724,93 | — 1,97 | + 3,67 | + 1,91 | + 2,4 | + 5,0 | 4,97 | +0,54 | 846 | — 7 | 760 | 890 | ... | ... | variable | 1,00 | 7,7 | + 0,2 | 124,8 |
| 6 | 724,14 | — 2,80 | + 4,17 | + 2,52 | + 2,9 | + 5,8 | 4,85 | +0,45 | 805 | — 49 | 670 | 910 | ... | ... | SSO. 1 | 1,00 | 7,7 | + 0,3 | 124,1 |
| 7 | 728,56 | + 1,58 | + 6,86 | + 5,32 | + 4,9 | +11,5 | 6,46 | +2,09 | 884 | + 30 | 720 | 950 | 0,5 | 1 | variable | 0,60 | 7,8 | + 0,5 | 126,1 |
| 8 | 729,81 | + 2,79 | + 6,67 | + 5,24 | + 2,5 | +10,8 | 4,61 | +0,27 | 614 | —241 | 470 | 810 | 8,6 | 4 | N. 2 | 0,60 | 8,1 | + 0,9 | 129,2 |
| 9 | 729,23 | + 2,17 | + 2,77 | + 1,45 | + 1,2 | + 4,1 | 3,99 | —0,32 | 735 | —121 | 660 | 820 | ... | ... | NE. 2 | 0,73 | ... | ..... | 130,0 |
| 10 | 724,89 | — 2,21 | + 0,50 | — 0,72 | — 2,4 | + 5,0 | 3,78 | —0,50 | 798 | — 58 | 650 | 930 | .. | ... | variable | 0,78 | 7,2 | + 0,1 | 127,0 |
| 11 | 730,65 | + 3,51 | + 1,97 | + 0,85 | — 1,7 | + 4,0 | 4,54 | +0,28 | 856 | — 1 | 700 | 1000 | 0,2 | 1 | SSO. 1 | 0,94 | 7,1 | + 0,1 | 125,8 |
| 12 | 732,21 | + 5,03 | + 5,58 | + 4,56 | + 2,9 | + 8,0 | 4,92 | +0,69 | 731 | —127 | 640 | 880 | 0,3 | .. 1 | SSO. 1 | 0,93 | 7,5 | + 0,6 | 126,3 |
| 13 | 729,52 | + 2,30 | + 6,26 | + 5,33 | + 4,8 | + 8,2 | 5,16 | +0,95 | 741 | —117 | 680 | 770 | ... | ... | SO. 1 | 1,00 | 7,6 | + 0,8 | 129,0 |
| 14 | 731,08 | + 3,82 | + 3,42 | + 2,58 | + 0,3 | + 8,1 | 4,00 | —0,19 | 696 | —163 | 540 | 920 | ... | ... | NE. 1 | 0,19 | 7,6 | + 0,9 | 126,0 |
| 15 | 737,69 | +10,39 | + 1,73 | + 0,98 | + 0,4 | + 3,8 | 3,57 | —0,60 | 706 | —153 | 580 | 790 | ... | ... | NE. 2 | 0,04 | 7,5 | + 0,9 | 128,9 |
| 16 | 738,33 | +10,99 | — 0,80 | — 1,47 | — 4,6 | + 4,8 | 3,48 | —0,67 | 814 | — 49 | 490 | 940 | ... | ... | variable | 0,47 | ... | ..... | 126,0 |
| 17 | 734,55 | + 7,18 | + 1,99 | + 1,40 | — 0,7 | + 5,8 | 4,88 | +0,75 | 921 | + 61 | 790 | 960 | ... | ... | SO. 1 | 0,78 | 7,0 | + 0,5 | 122,9 |
| 18 | 734,30 | + 6,89 | + 2,28 | + 1,77 | + 0,3 | + 5,0 | 4,93 | +0,81 | 921 | + 60 | 810 | 960 | 1,4 | 3 | variable | 0,86 | 7,1 | + 0,7 | 126,0 |
| 19 | 734,94 | + 7,49 | + 2,81 | + 2,37 | + 0,9 | + 4,6 | 4,00 | —0,10 | 718 | —143 | 630 | 780 | 0,1 | ... | NNE. 3 | 0,67 | 7,0 | + 0,7 | 125,3 |
| 20 | 734,20 | + 6,72 | — 1,40 | — 1,77 | — 2,8 | + 1,3 | 3,26 | —0,83 | 810 | — 52 | 630 | 920 | ... | ... | NNE. 3 | 0,64 | 4,8 | — 1,4 | 126,7 |
| 21 | 736,04 | + 8,52 | — 3,32 | — 3,62 | — 3,8 | — 1,8 | 3,26 | —0,82 | 935 | + 73 | 790 | 1000 | ... | ... | NNE. 2 | 1,00 | ... | ..... | 124,9 |
| 22 | 735,58 | + 8,02 | — 3,73 | — 3,97 | — 3,9 | — 3,0 | 2,95 | —1,12 | 879 | + 16 | 800 | 940 | ... | ... | NE. 1 | 1,00 | 5,5 | — 0,6 | 120,0 |
| 23 | 732,07 | + 4,48 | — 2,84 | — 3,02 | — 5,5 | — 0,2 | 3,28 | —0,78 | 888 | + 25 | 800 | 940 | 0,5 | 1 | SE. 1 | 0,99 | ... | ..... | 120,0 |
| 24 | 729,16 | + 1,54 | + 0,72 | + 0,60 | — 4,3 | + 5,2 | 4,11 | +0,06 | 842 | — 21 | 690 | 1000 | ... | ... | variable | 0,91 | 5,7 | — 0,3 | 119,3 |
| 25 | 721,77 | — 5,88 | + 2,97 | + 2,90 | + 1,0 | + 5,6 | 4,72 | +0,68 | 848 | — 16 | 750 | 910 | 0,5 | 1 | variable | 0,90 | 6,0 | + 0,1 | 119,9 |
| 26 | 715,25 | —12,43 | + 1,89 | + 1,87 | — 1,7 | + 5,1 | 4,20 | +0,16 | 808 | — 56 | 670 | 940 | 4,0 | 8 | SSO. 2 | 0,94 | 6,3 | + 0,5 | 117,6 |
| 27 | 720,01 | — 7,70 | + 3,92 | + 3,95 | + 2,4 | + 5,2 | 4,81 | +0,78 | 812 | — 52 | 740 | 890 | 2,2 | 5 | SO. 2 | 0,99 | 6,4 | + 0,6 | 120,5 |
| 28 | 729,69 | + 1,96 | + 1,65 | + 1,72 | — 0,4 | + 4,1 | 3,55 | —0,48 | 704 | —161 | 630 | 780 | 0,2 | 1 | SO. 1 | 0,82 | 6,3 | + 0,6 | 114,3 |
| 29 | 729,55 | + 1,79 | + 2,08 | + 2,19 | — 1,5 | + 4,6 | 5,08 | +1,05 | 939 | + 74 | 840 | 970 | 11,0 | 12 | NO. 1 | 1,00 | 6,2 | + 0,6 | 119,5 |
| 30 | 729,94 | + 2,16 | + 6,39 | + 6,54 | + 3,1 | +10,7 | 6,60 | +2,58 | 917 | + 52 | 760 | 990 | 3,1 | 6 | NO. 1 | 0,52 | .. | ..... | 116,0 |
| 31 | 729,02 | + 1,22 | + 5,27 | + 5,45 | + 2,3 | + 7,4 | 5,20 | +1,18 | 781 | — 84 | 600 | 970 | 8,6 | 8 | variable | 0,83 | 6,4 | + 0,8 | 119,5 |

# MOYENNES DU MOIS DE DÉCEMBRE 1877.

| | 6 h. m. | 8 h. m. | 10 h. m. | Midi. | 2 h. s. | 4 h. s. | 6 h. s. | 8 h. s. | 10 h. s. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Baromètre.** | | | | | | | | | |
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1re décade | 723,28 | 723,78 | 724,35 | 724,15 | 723,96 | 724,14 | 724,29 | 724,69 | 724,55 |
| 2e » | 733,18 | 733,74 | 734,16 | 733,80 | 733,51 | 733,79 | 734,09 | 734,30 | 734,42 |
| 3e » | 727,81 | 728,07 | 728,24 | 727,78 | 727,88 | 728,13 | 728,18 | 728,33 | 728,47 |
| Mois | 728,08 | 728,52 | 728,89 | 728,55 | 728,43 | 728,67 | 728,83 | 729,08 | 729,12 |
| **Température.** | | | | | | | | | |
| | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° |
| 1re décade | + 3,53 | + 3,53 | + 4,31 | + 5,17 | + 5,36 | + 4,78 | + 4,29 | + 3,65 | + 3,41 |
| 2e » | + 1,08 | + 0,98 | + 2,79 | + 4,12 | + 4,28 | + 3,67 | + 2,65 | + 2,50 | + 1,96 |
| 3e » | + 0,08 | + 0,38 | + 1,22 | + 2,41 | + 2,94 | + 2,71 | + 2,02 | + 1,70 | + 1,35 |
| Mois | + 1,52 | + 1,59 | + 2,72 | + 3,85 | + 4,15 | + 3,69 | + 5,96 | + 2,59 | + 2,21 |
| **Tension de la vapeur.** | | | | | | | | | |
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1re décade | 5,16 | 5,01 | 5,00 | 4,98 | 4,89 | 4,95 | 4,77 | 4,82 | 4,76 |
| 2e » | 4,30 | 4,14 | 4,26 | 4,35 | 4,34 | 4,36 | 4,40 | 4,30 | 4,28 |
| 3e » | 4,26 | 4,30 | 4,45 | 4,46 | 4,40 | 4,32 | 4,37 | 4,38 | 4,40 |
| Mois | 4,56 | 4,48 | 4,57 | 4,59 | 4,54 | 4,54 | 4,51 | 4,50 | 4,48 |
| **Fraction de saturation en millièmes.** | | | | | | | | | |
| 1re décade | 865 | 843 | 792 | 735 | 725 | 759 | 759 | 803 | 810 |
| 2e » | 861 | 836 | 756 | 702 | 695 | 725 | 792 | 779 | 809 |
| 3e » | 900 | 887 | 863 | 804 | 763 | 765 | 807 | 834 | 865 |
| Mois | 876 | 857 | 805 | 749 | 729 | 750 | 787 | 806 | 829 |

| | Therm. min. | Therm. max. | Clarté moy. du Ciel. | Température du Rhône. | Eau de pluie ou de neige. | Limnimètre. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ° | ° | | ° | mm | cm |
| 1re décade | + 2,10 | + 6,37 | 0,84 | + 7,54 | 12,4 | 126,2 |
| 2e » | — 0,02 | + 5,36 | 0,65 | + 7,02 | 2,0 | 126,3 |
| 3e » | — 1,12 | + 3,90 | 0,90 | + 6,10 | 30,1 | 119,2 |
| Mois | + 0,27 | + 5,17 | 0,80 | + 6,89 | 44,5 | 123,8 |

Dans ce mois, l'air a été calme 0,4 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 1,35 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 8°,0 E. et son intensité est égale à 11,68 sur 100.

# TABLEAU

DES

# OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

## FAITES AU SAINT-BERNARD

pendant

## LE MOIS DE DÉCEMBRE 1877.

---

Le 2, neige dans la nuit du 1 au 2, portée au 2.
3, neige et brouillard le matin.
6, neige le soir.
8, neige et brouillard tout le jour, par une bise très-violente. La neige marquée le 8 est tombée en grande partie dans la nuit du 7 au 8, celle tombée pendant la journée a été emportée en grande partie par le vent.
13, neige dans la nuit et le matin.
14, neige et brouillard tout le jour.
16, brouillard le soir.
17, 18, 19, très-forte bise, et brouillard qui ne se dissipe que pendant quelques heures au milieu de la journée le 19.
20, brouillard le matin.
25, neige et brouillard jusqu'au soir.
26, brouillard depuis 8 h. du matin tout le jour ; la neige commence à tomber dans l'après-midi, et continue à tomber pendant toute la journée du 27, par une assez forte bise.
28, très-forte bise et brouillard le matin.
29, neige et brouillard jusqu'à 2 h. après midi.
31, neige et brouillard tout le jour.

### *Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.*

| MAXIMUM | mm | MINIMUM. | mm |
|---|---|---|---|
| Le 3 à midi | 558,22 | Le 1er à 6 h. matin | 551,29 |
| 7 à 6 h. soir | 565,64 | 4 à 6 h. matin | 555,23 |
| 9 à midi | 562,56 | 8 à 2 h. après midi | 560,57 |
| 11 à 10 h. soir | 566,34 | 10 à 2 h. après midi | 561,42 |
| 16 à 8 h. matin | 569,51 | 14 à 6 h. matin | 562,16 |
| 17 à 10 h. soir | 566,44 | 17 à 6 h. matin | 564,25 |
| 19 à 10 h. matin | 564,89 | 18 à 10 h. soir | 562,98 |
| 22 à 10 h. matin | 565,68 | 20 à 6 h. matin | 562,14 |
| 30 à 10 h. matin | 566,06 | 26 à 2 h. après midi | 549,12 |
| | | 31 à 2 h. après midi | 562,50 |

# SAINT-BERNARD. — DÉCEMBRE 1877.

| Jours du mois. | Baromètre. | | | | Température C. | | | | Pluie ou neige. | | | Vent dominant. | Clarté moyenne du Ciel. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hauteur moy. des 24 heures. | Écart avec la hauteur normale. | Minimum. | Maximum. | Moyenne des 24 heures. | Écart avec la température normale. | Minimum* | Maximum* | Hauteur de la neige. | Eau tombée dans les 24 h. | Nombre d'heures. | | |
| | millim. | millim. | millim. | millim. | ° | ° | ° | ° | millim. | millim. | | | |
| 1 | 552,14 | — 9,81 | 551,29 | 553,63 | — 8,43 | — 1,71 | —10,9 | — 6,8 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,53 |
| 2 | 555,40 | — 6,53 | 554 53 | 555,94 | — 7,67 | — 0,87 | — 9,8 | — 6,8 | 60 | 4,0 | .... | NE. 1 | 0,70 |
| 3 | 557,32 | — 4,59 | 556,60 | 558,22 | — 4,62 | + 2,26 | — 5,6 | — 1,9 | 200 | 15,0 | .... | NE. 1 | 0,80 |
| 4 | 556,56 | — 5,33 | 555,23 | 558,23 | — 4,68 | + 2,28 | — 5,1 | — 3,3 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,70 |
| 5 | 558,35 | — 3,52 | 558,30 | 558,64 | — 6,14 | + 0,90 | — 7,7 | — 4,0 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,28 |
| 6 | 560,12 | — 1,73 | 558,74 | 561,86 | — 6,82 | + 0,30 | — 7,4 | — 5,9 | 70 | 4,5 | .... | SO. 1 | 0,56 |
| 7 | 564,78 | + 2,96 | 563,15 | 565,64 | — 3,75 | + 3,46 | — 5,5 | — 1,7 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,24 |
| 8 | 561,61 | — 0,19 | 560,57 | 562,34 | — 8,67 | — 1,38 | —13,7 | — 3,6 | 240 | 18,2 | .... | NE. 3 | 0,91 |
| 9 | 562,06 | + 0,28 | 561,35 | 562,56 | — 6,91 | + 0,46 | —11,2 | — 6,2 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,00 |
| 10 | 559,08 | — 2,68 | 558,64 | 560,16 | — 8,82 | — 1,38 | —12,3 | — 6,2 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,00 |
| 11 | 564,06 | + 2,32 | 561,42 | 566,34 | — 8,24 | — 0,73 | — 9,9 | — 6,4 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,08 |
| 12 | 565,86 | + 4,14 | 565,71 | 566,03 | — 4,16 | + 3,42 | — 7,1 | — 1,0 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,52 |
| 13 | 563,92 | + 2,22 | 563,19 | 564,84 | — 4,06 | + 3,59 | — 5,2 | — 2,0 | 40 | 3,1 | .... | NE. 1 | 0,99 |
| 14 | 563,28 | + 1,60 | 562,16 | 565,12 | —10,36 | — 2,64 | —13,0 | — 7,8 | 60 | 4,8 | .... | NE. 2 | 0,98 |
| 15 | 567,85 | + 6,19 | 565,96 | 569,14 | —11,05 | — 3,27 | —12,9 | — 9,0 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,00 |
| 16 | 568,46 | + 6,82 | 567,31 | 569,51 | — 7,87 | — 0,03 | — 8,8 | — 4,8 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,42 |
| 17 | 565,81 | + 4,18 | 564,25 | 566,44 | — 8,71 | — 0,81 | —11,0 | — 7,4 | ..... | ..... | .... | NE. 2 | 0,92 |
| 18 | 563,77 | + 2,16 | 562,98 | 564,76 | — 9,77 | — 1,81 | —11,3 | — 8,6 | ..... | ..... | .... | NE. 3 | 1,00 |
| 19 | 564,03 | + 2,44 | 563,47 | 564,89 | —12,15 | — 4,13 | —12,8 | —11,0 | ..... | ..... | .... | NE. 2 | 0,81 |
| 20 | 563,82 | + 2,25 | 562,14 | 565,40 | —12,52 | — 4,44 | —16,0 | — 9,8 | ..... | ..... | .... | NE. 2 | 0,35 |
| 21 | 564,62 | + 3,06 | 564,39 | 565,20 | — 9,58 | — 1,45 | —10,4 | — 7,5 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,00 |
| 22 | 565,34 | + 3,79 | 565,27 | 565,68 | — 7,82 | + 0,36 | — 8,7 | — 5,5 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,00 |
| 23 | 563,73 | + 2,20 | 563,60 | 564,23 | — 7,83 | + 0,40 | — 9,2 | — 6,5 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,79 |
| 24 | 562,37 | + 0,86 | 560,50 | 563,97 | — 5,58 | + 2,70 | — 9,0 | — 2,8 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,17 |
| 25 | 555,42 | — 6,07 | 553,35 | 557,84 | — 9,24 | — 0,91 | —12,1 | — 4,7 | 70 | 4,8 | .... | NE. 1 | 0,65 |
| 26 | 550,73 | —10,74 | 549,12 | 552,57 | —11,53 | — 3,16 | —14,7 | — 9,3 | ..... | ..... | .... | NE. 2 | 0,88 |
| 27 | 554,05 | — 7,41 | 552,39 | 555,18 | — 9,71 | — 1,30 | —11,0 | — 8,1 | 450 | 34,2 | .... | NE. 1 | 1,00 |
| 28 | 559,19 | — 2,25 | 555,03 | 562,27 | —14,46 | — 6,01 | —15,8 | —11,0 | ..... | ..... | .... | NE. 2 | 0,55 |
| 29 | 564,01 | + 2,59 | 562,60 | 565,11 | — 3,54 | + 4,95 | — 5,4 | — 2,0 | 40 | 4,0 | .... | NE. 1 | 0,71 |
| 30 | 565,50 | + 4,10 | 564,93 | 566,06 | — 3,57 | + 4,96 | — 4,5 | — 1,0 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,07 |
| 31 | 563,27 | + 1,89 | 562,50 | 564,75 | — 6,35 | + 2,22 | —10,8 | — 1,8 | 200 | 16,4 | .... | NE. 2 | 0,98 |

* Ces colonnes renferment la plus basse et la plus élevée des températures observées de 6 h. matin à 10 h. soir.

# MOYENNES DU MOIS DE DÉCEMBRE 1877.

| | 6 h. m. | 8 h. m. | 10 h. m. | Midi. | 2 h. s. | 4 h. s. | 6 h. s. | 8 h. s. | 10 h. s. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **Baromètre.** | | | | | |
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1re décade | 558,18 | 558,40 | 558,81 | 558,85 | 558,69 | 558,88 | 559,04 | 559,21 | 559,38 |
| 2e » | 564,37 | 564,88 | 565,18 | 565,15 | 565,25 | 565,31 | 565,38 | 565,47 | 565,54 |
| 3e » | 560,46 | 560,72 | 560,77 | 560,63 | 560,62 | 560,87 | 561,10 | 561,11 | 561,20 |
| Mois | 560,99 | 561,31 | 561,56 | 561,51 | 561,49 | 561,66 | 561,82 | 561,91 | 562,01 |
| | | | | **Température.** | | | | | |
| | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° |
| 1re décade | — 7,02 | — 6,25 | — 5,56 | — 5,42 | — 5,68 | — 6,46 | — 6,67 | — 7,23 | — 7,41 |
| 2e » | — 9,76 | — 9,38 | — 8,35 | — 7,65 | — 7,54 | — 8,03 | — 8,44 | — 8,96 | — 9,74 |
| 3e » | — 8,60 | — 8,35 | — 7,37 | — 6,42 | — 6,47 | — 7,82 | — 8,55 | — 8,65 | — 8,59 |
| Mois | — 8,46 | — 8,01 | — 7,10 | — 6,49 | — 6,56 | — 7,45 | — 7,91 | — 8,29 | — 8,58 |

| | Min. observé. | Max. observé. | Clarté moyenne du ciel. | Eau de pluie ou de neige. | Hauteur de la neige tombée. |
|---|---|---|---|---|---|
| | ° | ° | | mm | mm |
| 1re décade | — 8,92 | — 4,64 | 0,47 | 41,7 | 570 |
| 2e » | —10,80 | — 6,78 | 0,61 | 7,9 | 100 |
| 3e » | —10,15 | — 5,47 | 0 53 | 59,4 | 760 |
| Mois | — 9,96 | — 5,63 | 0,53 | 109,0 | 1430 |

Dans ce mois, l'air a été calme 0,00 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 17,8 à 1,00.

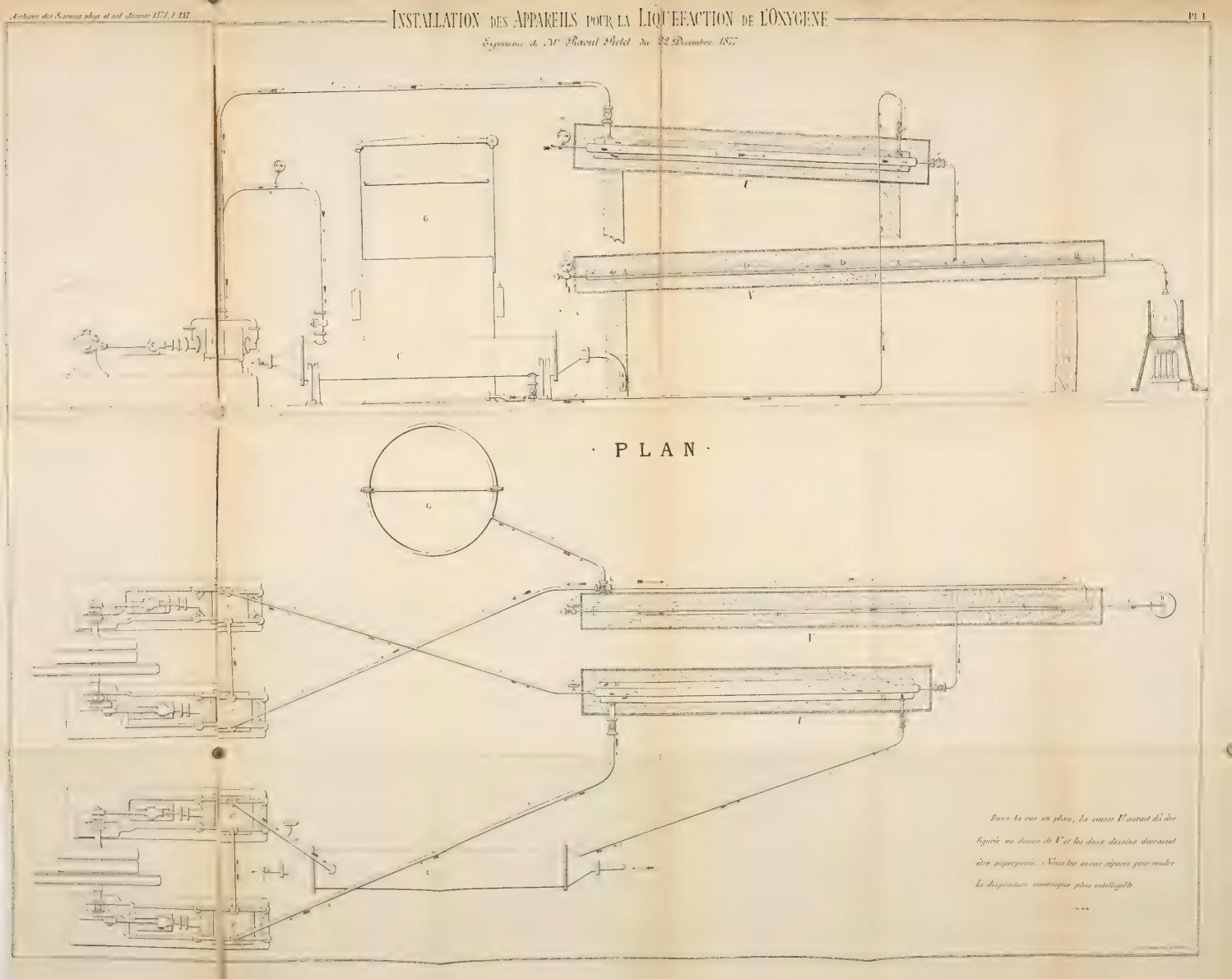
La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 45° E., et son intensité est égale à 114,7 fois sur 100.

A

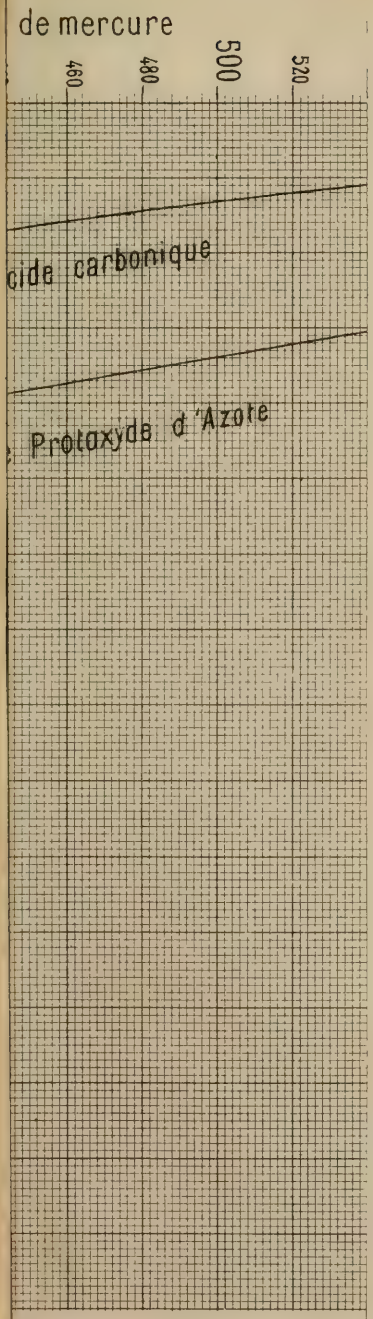
# INSTALLATION DES APPAREILS POUR LA LIQUÉFACTION DE L'OXYGÈNE

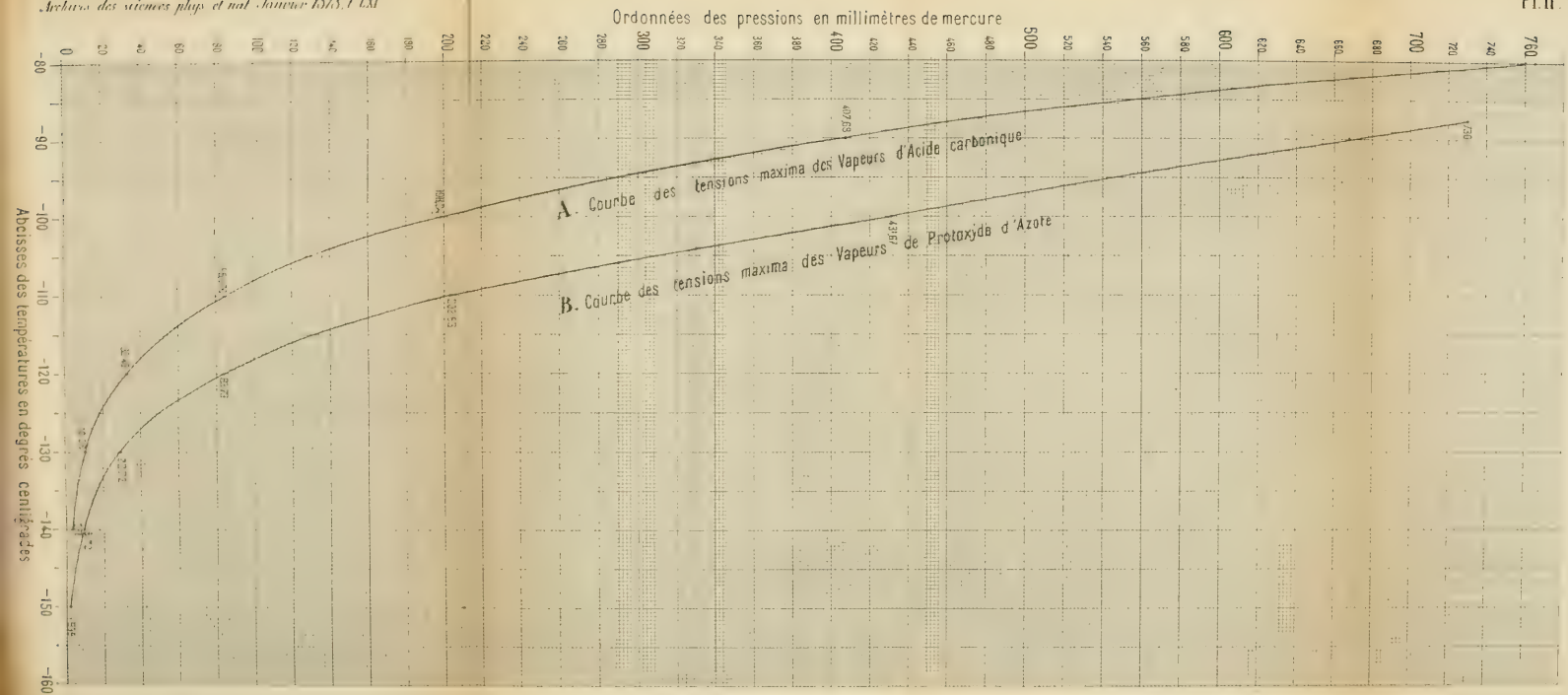
*Expérience de M. Pictet du 22 Décembre 1877*

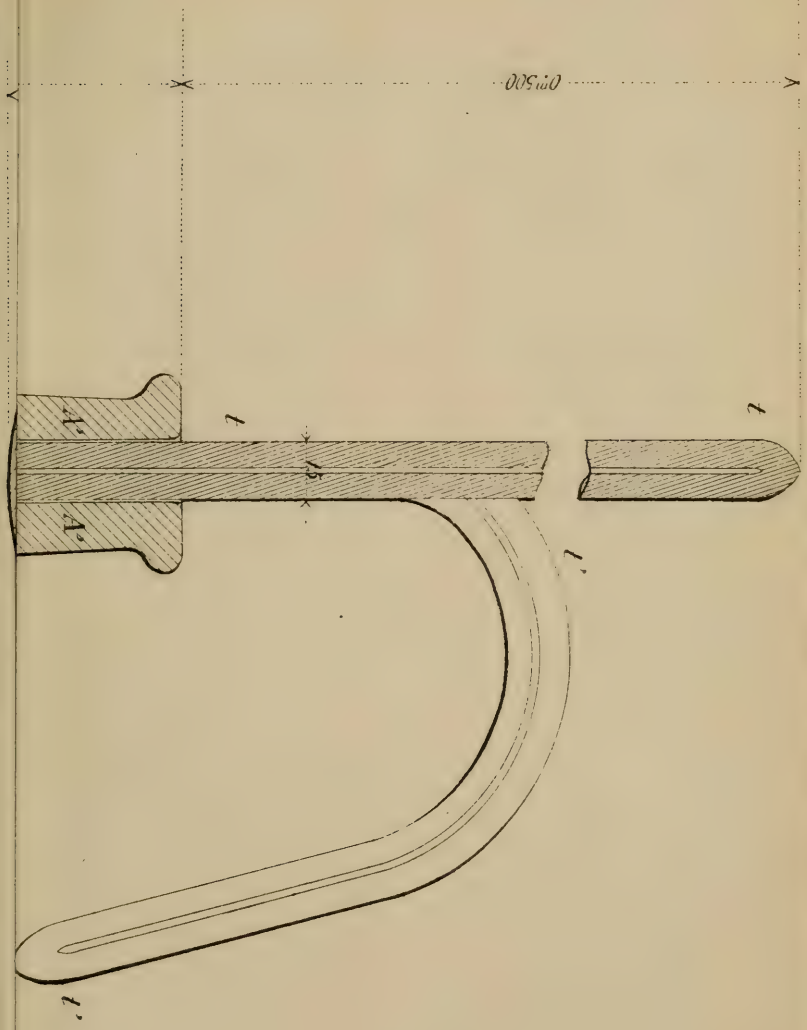




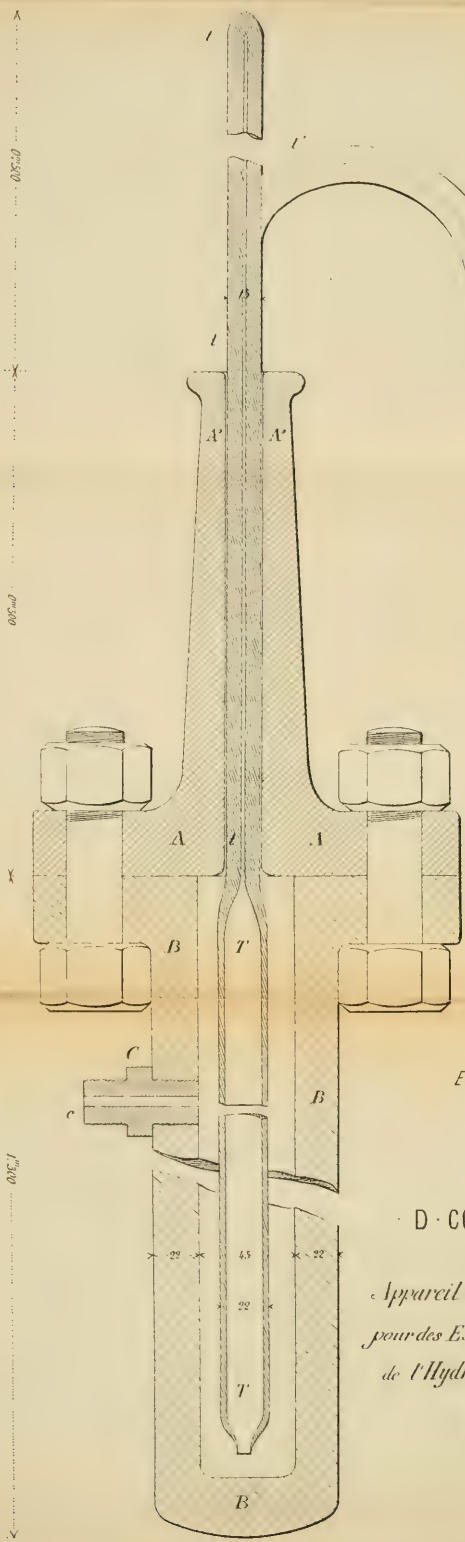

*Dans la vue en plan, la cuve U aurait dû être figurée au dessus de V et les deux dessins devraient être superposés. Nous les avons séparés pour rendre la disposition mécanique plus intelligible.*


de mercure
460
480
500
520
cide carbonique
Protoxyde d'Azote


Ordonnées des pressions en millimètres de mercure
A. Courbe des tensions maxima des Vapeurs d'Acide carbonique
B. Courbe des tensions maxima des Vapeurs de Protoxyde d'Azote
Abcisses des températures en degrés centigrades




Lith. Noverraz à Genève

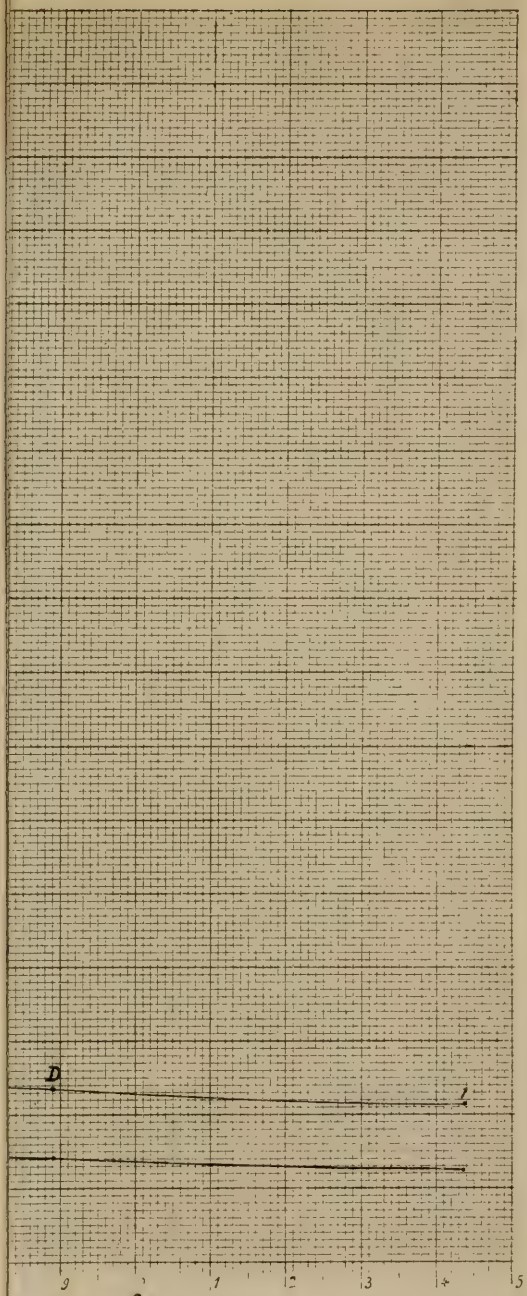


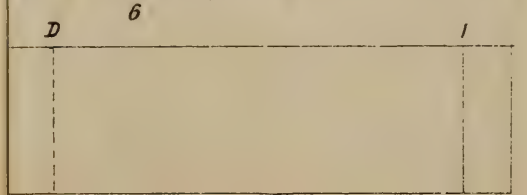

Echelle · $\frac{1}{2}$

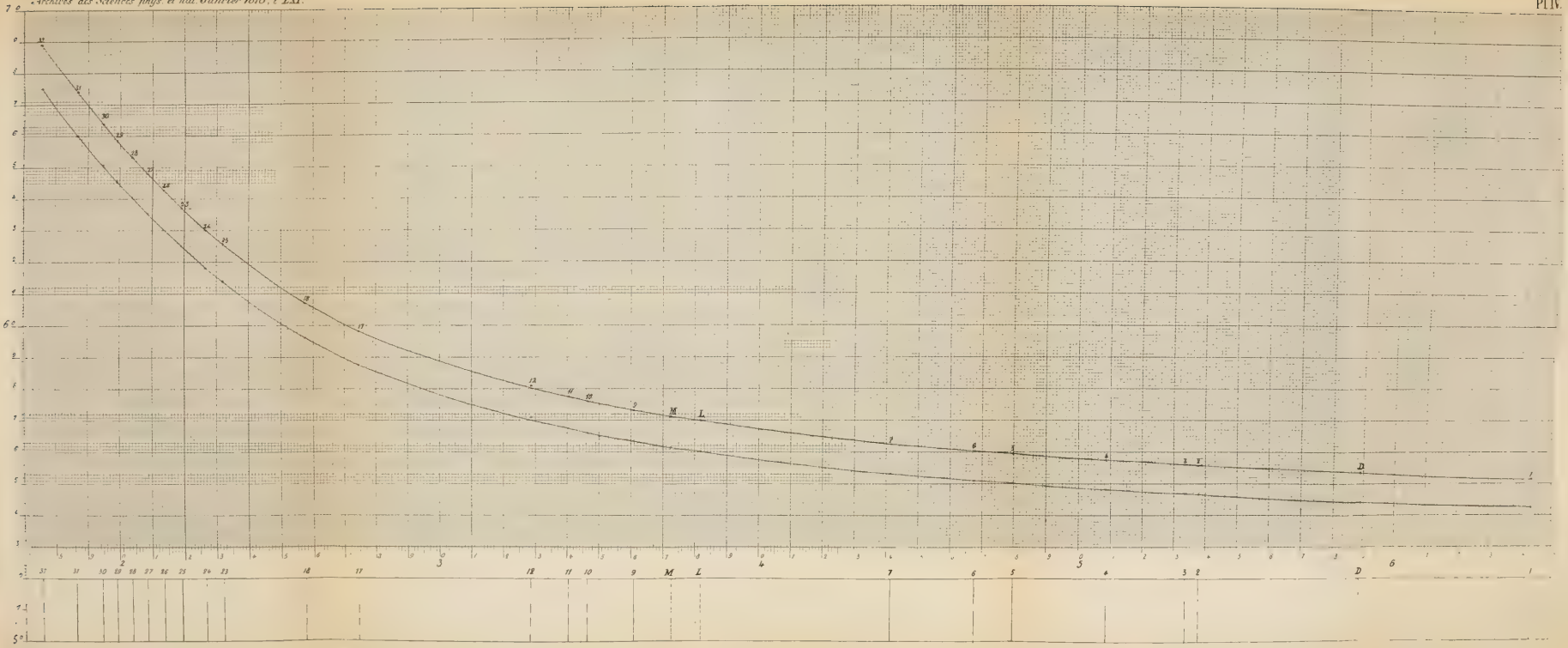
· D · COLLADON · 1828 ·

*Appareil construit à Genève pour des Essais de Liquéfaction de l'Hydrogène et de l'Air.*

Archives des Sciences phys. et nat. Janvier 1870 t. XXV.


D
1
9
1
2
3
4
5
6


D
1


M
L
D

# REVUE GÉOLOGIQUE SUISSE

## POUR L'ANNÉE 1877

PAR

M. ERNEST FAVRE

---

Cette revue est divisée comme les précédentes en deux parties. La première comprend l'examen des ouvrages généraux, des descriptions géologiques et de quelques travaux spéciaux de minéralogie, de paléontologie et de géologie dynamique. La seconde traite de l'étude des terrains, à partir des formations les plus anciennes jusqu'aux dépôts actuels.

Nous devons à M. Bouvier [10] une biographie de de Saussure, dans laquelle il s'occupe spécialement des voyages et des séjours dans les Alpes de ce naturaliste. M. Lebert [63] a retracé la vie de de Charpentier (1786-1855) sur laquelle M. Schnetzler [95] a aussi donné quelques détails. J'ai fait paraître [32] une notice biographique sur Louis Agassiz.

### I. Ouvrages généraux, roches, géologie dynamique, etc.

#### Descriptions géologiques.

*Suisse.* La Commission géologique [18] a publié la quatorzième livraison des Matériaux pour la carte géolo-

gique de la Suisse. Elle contient la description, faite par M. Gutzwiller, de la mollasse du canton de St-Gall contenue sur la feuille IX de l'atlas fédéral, celle du massif secondaire et tertiaire des montagnes du Sihlthal et des Mythen, dont la structure géologique très compliquée a été étudiée par M. Kaufmann, celle du Burgenstock due au même auteur, et un appendice paléontologique comprenant la description des fossiles du terrain nummulitique d'Einsiedeln par M. C. Mayer.

M. A. Heim[54] a donné une description succincte du massif du Tödi et des montagnes environnantes dans la Suisse orientale. C'est la région du grand renversement qui a déjà été décrit à plusieurs reprises. Je n'analyserai pas ici ce travail, espérant pouvoir rendre compte prochainement du bel ouvrage que cet auteur prépare sur la même région.

M. Caviezel[12] a publié, dans un guide de la Haute-Engadine, une esquisse de la géologie de cette région d'après les travaux de Théobald.

Je résume ici la suite des coupes du tunnel du Gothard, levées par M. Stapff et publiées par le Conseil fédéral[19] (Rev. pour 1875, p. 348).

| Mètres. | *Côté sud.* |
|---|---|
| 1303,6—1528,3. | Micaschistes plus ou moins quartzifères, gris-verdâtre, renfermant des bancs de schistes amphiboliques, et grenatifères; les derniers bancs ressemblent aux schistes des Nuffenen (Échant. nos 75-78). |
| 1528,3—1808,4. | Quartzite schisteux alternant avec du schiste vert qui ressemble à celui de la vallée d'Urseren; roche amphibolique à 1589m,7 et 1708m,2. Micachiste amphibolique grenatifère à 1678m,2; brèche de friction à 1802m,6 (nos 78-88). |

1808,4—1833,2. Micaschiste gris-noir et quartzite schisteux, gris-foncé (nos 89-90).

1833,2—2400. Quartzite schisteux, micaschiste quartzeux, avec intercalations de roches amphiboliques et grenatifères (nos 90-97).

2400—2722,3. Micaschiste amphibolique, micaschiste, micaschiste grenatifère, avec quelques alternances de quartzite schisteux (nos 97-109).

2722,3—2736,3. Schiste chloriteux calcaire (nos 110-111).

*Côté nord.*

1310,1—1348,2. Micaschiste et gneiss gris (nos 21-23).

1348,2—1359,5. Eurite (no 24).

1359,5—1517. Gneiss gris plus ou moins micacé, alternant avec gneiss granitique (nos 23-25).

1517—1998,75. Granit gneissique à gros grain, devenant schisteux vers la fin (nos 26-30).

1998,75—2010,25. Gneiss granitique du Finsteraarhorn, passant au gneiss d'Urseren (no 31).

2010,25—2221,3. Gneiss d'Urseren en bancs alternativement clairs et foncés (schiste gris-vert), avec intercalation de gneiss granitique (à 2058 et 2151m) et de schiste quartzeux (à 2180m) (nos 32-36).

2221,3—2315,1. Alternances de gneiss d'Urseren foncé (schiste gris-vert) plus ou moins feldspatique et de schiste quartzeux nos 33-36). Intercalation de gneiss micacé brun (no 37) à 2315, 2320 et 2324m.

2501—2582,4. Fissure remplie d'argile.

D'après les rapports mensuels et trimestriels, la galerie a traversé du côté sud à partir de 2885m des schistes de compositions variées, amphiboliques, quartzeux, micacés. 3284—3619m, gneiss micacé associé à du gneiss blanc avec des bancs amphiboliques. 3619—3871m, gneiss micacé très-peu feldspathique passant au micaschiste, sans amphibole ni grenats. 3871—4180m, gneiss micacé peu feldspathique passant au gneiss de Sella avec intercalations de schiste quartzeux et de quartzite. 4180—4536m, gneiss de couleur claire, riche en quartz, compacte.

Du côté nord à la suite des roches en décomposition qui succèdent aux calcaires d'Andermatt et qui se prolongent jusqu'à 2830m, vient le gneiss d'Urseren qui passe au micaschiste (*Sericitschiefer*); à 3255m on trouve quelques bandes de calcaire cristallin auquel succède un micaschiste argileux. 3594—3816m, mi-

caschiste gneissique, gneiss micacé et quartzite schisteux; 3816—4309$^{m}$, gneiss d'Urseren feuilleté et schiste vert passant au quartzite schisteux et au micaschiste. Limite des roches de la vallée d'Urseren et de celles du massif du Gothard, avec passage des roches de l'un à l'autre par alternances successives. 4309—4435$^{m}$, gneiss micacé brun. 4435—4797$^{m}$, gneiss micacé du Gurschen. 4797—4900$^{m}$, gneiss micacé, couches d'amphibole et de serpentine.

Au 31 octobre 1877, il y avait un total de 9436$^{m}$,9 percés par la galerie de direction.

M. Stapff [100] a publié le commencement des recherches faites sur la température de l'intérieur du Gothard. La première partie ne contient que les observations directes faites sur le sol, sur l'air, et sur l'eau et les calculs déduits de ces observations.

La Commission géologique a publié en 1875 la carte de la partie sud des Alpes vaudoises à $\frac{1}{50000}$ exécutée par M. Renevier. En attendant le texte définitif qui doit accompagner ce magnifique travail sur une des régions les plus compliquées des Alpes, cet auteur [86] a donné une notice préliminaire dans laquelle il résume ses observations sur la nature des terrains et des soulèvements. Je n'ai pas à rendre compte de ce travail qui a paru dans les *Archives*. La coupe de la Dent de Morcles qu'il y a jointe donne l'idée du renversement gigantesque dont cette région a été le théâtre, renversement dont la longueur totale est de 25 kilomètres. La plus grande partie des terrains alpins est représentée dans ces montagnes, des schistes cristallins au flysch (oligocène) et souvent par des horizons riches en fossiles. Il suffit de nommer les gisements houillers d'Arbignon, ceux du terrain jurassique du Muveran, ceux des terrains crétacés (Cheville, Écuellaz) et nummulitique (Diablerets).

On trouvera aussi dans cette notice une théorie fort bien exposée sur la formation des dépots triasiques (dolomie, cargneule, gypse, sel) dans nos Alpes et un résumé des mouvements qu'a dû subir le sol de cette région aux diverses époques.

L'étude faite par M. De la Harpe [23] de la géologie des environs de Loèche-les-Bains est d'autant plus utile qu'il n'existait encore que fort peu de documents sur cette région compliquée, dans laquelle on trouve des représentants de plusieurs terrains, des roches cristallines au terrain tertiaire. Sur le gneiss et les schistes micacés qui se voient dans le massif du Torrenthorn, sont des cargneules et des dolomies qui appartiennent au trias ; puis vient une grande masse de terrain liasique formée de roches très diverses. Le sentier de la Gemmi donne la coupe suivante de cette montagne qui appartient au massif du Balmhorn :

Calcaire à pentacrines; schistes gris noirs ; calcaire lamellaire; schistes argileux gris (*Amm. Parkinsoni?*); calcaire schisteux; calcaire gris, grenu, siliceux, contenant des térébratules, l'*Ostrea Marshii?* ; schistes calcaires, grenus, à fucoïdes; calcaire à grain fin, gris-bleu clair en couches peu épaisses, formant le sommet de l'escarpement et le revers vers le Daubensee (*Belemn. hastatus* Bl., *B. Duvalianus?* d'Orb.), appartenant au terrain oxfordien ; calcaires gris-cendrés, grenus ; le chemin de la Gemmi les traverse du Daubensee à Schwarebach ; ils contiennent des crinoïdes, oursins, polypiers, acéphales et nérinées (*Cidaris pretiosa* Des.) et appartiennent au terrain valangien. Au-dessus vient une série d'assises très-complexes formant la chaîne de Felsenhorn et dans laquelle on remarque un calcaire à *Toxaster* (terrain néocomien), un calcaire blanc à nérinées et caprotines qui ressemble beaucoup au terrain urgonien, mais qui est de nouveau recouvert de calcaire néocomien ; et un calcaire brun qui appartient probablement au terrain nummulitique.

M. De la Harpe indique la manière dont toutes ces couches se prolongent dans la région voisine. On trouve donc ici la série des terrains, du lias au nummulitique, en superposition régulière. S'il y a des plissements qui rendent souvent les rapports stratigraphiques incertains et obscurs, on ne voit pas dans cette région de renversements semblables à ceux de la Dent du Midi.

Sous le titre : *Le lac de Genève,* M. Herbst [55] a résumé quelques-uns des principaux traits de la structure des Alpes suisses, de l'histoire des glaciers et des lacs et de leur origine.

M. Ed. Pictet [81] a publié la carte du lac de Genève sur un espace compris entre cette ville et une ligne tirée de Coppet à Hermance. Les courbes de niveau du terrain sont à $4^m$ d'équidistance ; celles du lac sont à $5^m$ et se rapportent à la cote de $376^m,86$ de la pierre du Niton, cote adoptée pour les minutes de la carte fédérale. La rive du lac est tracée à $375^m$, niveau qui représente la hauteur des eaux moyennes. J'ai déjà dit ailleurs (Rev. pour 1874, 280) quelques mots de ce très-beau travail dont la publication rendra d'éminents services.

*Savoie.* M. Ébray [25] reconnaît, dans la partie de la Savoie qui avoisine la montagne du Môle, quatre failles principales, celle des Voirons, celle du mont Vouant, celle de l'Arve qui leur est à peu près perpendiculaire et une quatrième dans le Môle lui-même. La singulière structure de cette montagne provient des accidents causés par les failles. La coupe du Réret est, d'après cet auteur, toute différente de celle qui a été donnée par M. A. Favre*. Il n'y a constaté aucun renversement et il y indique

* *Recherches géol.*, I, p. 443.

de bas en haut: 1° Oxfordien ou corallien marneux à *Collyrites Friburgensis* et *Ammonites transitorius*. 2° Kimméridien à *Amm. subfimbriatus* et *Terebr. janitor*. 3° Poudingue. 4° Dolomie. 5° Portlandien. Calcaire lithographique à *Aptychus latus* et *lamellosus*.

M. PILLET [82] a donné une description et des coupes géologiques de la chaîne du Nivolet (Savoie) qui se compose de trois sommités distinctes, Semnoz, Margeria et Nivolet. Les terrains qui constituent cette chaîne et qui ont été plissés de diverses manières, sont les terrains urgonien, néocomien, valangien, les marnes de Berrias et le terrain jurassique supérieur.

*Alpes italiennes*. M. G. JERVIS [56] a terminé son ouvrage sur les richesses minérales de l'Italie (Rev. pour 1874, 271). Il y divise les Alpes italiennes de l'Ouest à l'Est de la manière suivante :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Alpes Maritimes. | Du Mte dello Schiavo au Monviso. | 194 | kilom. |
| — Cotiennes. | Du Monviso au Mt Iseran. | 190 | — |
| — Grayes. | Du Mt Iseran au Mt Blanc. | 69 | — |
| — Pennines. | Du Mt Blanc au Mt Rose. | 110 | — |
| — Lépontiennes. | Du Mt-Rose au St-Bernardin. | 192 | — |
| — Rhétiques. | Du St-Bernardin au Pizzo dei Tre Signori | 352 | — |
| — Noriques. | Du Pizzo dei Tre Signori au Grossglockner. | 59 | — |
| — Carniques. | Du Grossglockner au Colle di Tarvis. | 118 | — |
| — Juliennes. | Du Colle di Tarvis au Frioul autrichien. | 10 | — |

M. BARETTI [6] a fait l'étude géologique du groupe du Grand-Paradis dans les Alpes Piémontaises. Il y résume les travaux géologiques entrepris dans cette région, puis il examine la nature des terrains cristallins anciens (granit et gneiss central), celles des terrains cristallins récents (zone de la pierre verte), les rapports entre la

stratigraphie de ces terrains et leurs formes orographiques; il fait la même recherche pour les terrains paléozoïques et il discute l'âge de toute cette importante série. Après en avoir décrit les minéraux les plus fréquemment utilisés, il passe à l'examen des terrains pliocènes, glaciaires et quaternaires. Nous reviendrons plus loin sur quelques-uns de ces sujets. Des cartes et de nombreuses coupes accompagnent ce travail. L'axe de soulèvement du massif est dirigé du S.O. au N.E. sur une longueur de 120 kilomètres, dont 42 environ sont dans le gneiss central. La direction des terrains est parallèle à celle du soulèvement. La vallée d'Aoste représente la dépression entre les massifs du Mont-Rose et du Grand-Paradis, celle de Vice la dépression entre ce dernier et celui de Riparia-Macra. Ces trois massifs forment dans leur alignement une courbe convexe E.N.E.-N.E.-N.N.E., en dehors de laquelle est situé le Mont-Blanc qui est ainsi hors de l'axe du soulèvement alpin.

M. Curioni [21] a publié une description géologique de la Lombardie, accompagnée d'une belle carte à $\frac{1}{172800}$ dans laquelle rentre la partie méridionale de la Suisse. La première partie de cet ouvrage est une étude stratigraphique des terrains ; la seconde un catalogue des minéraux et des roches pouvant servir à l'industrie avec la description de leurs divers gisements. Ce vaste travail embrasse toute la région très compliquée qui s'étend du lac Majeur au lac de Guarda et à l'Adamello. Les terrains les plus anciens sont des gneiss et des schistes micacés, surmontés par des gneiss amphiboliques, des schistes chloriteux et talqueux. Ils sont plus anciens que le silurien, dont M. Curioni n'a trouvé aucun représentant dans cette région, non plus que du dévonien ; puis viennent les ter-

rains carbonifère, permien, secondaires, tertiaires et récents, sur lesquels je donnerai plus loin quelques indications. Dans les roches massives, M. Curioni décrit le granit ancien et récent, le granit amphibolique, la syénite granitique (tonalite), la syénite dioritique, la diorite, le porphyre quartzifère, la serpentine, la pierre ollaire. Ces roches sont en rapport avec divers terrains, des plus anciens jusqu'à l'infralias.

*Tyrol.* M. LEPSIUS [64] a fait paraître la carte géologique à 1 : 144000 de la partie occidentale du Tyrol méridional; elle s'étend au nord jusqu'à Méran, à l'ouest jusqu'au lac de Guarda. Le texte qui accompagnera ce travail donnera la description des terrains très-variés de cette région, roches cristallines, terrains primaires, secondaires et tertiaires.

M. N. DALE [22] a fait la carte géologique du Val di Ledro près de la partie septentrionale du lac de Guarda. Cette région est constituée par le terrain rhétien dans lequel l'auteur a reconnu 7 subdivisions, et dont il a fait une étude spéciale, le lias, les terrains jurassique et crétacé.

MM. STACHE et JOHN [99] ont entrepris des recherches sur les roches éruptives et massives anciennes des Alpes centrales et orientales. La première partie de cette étude se rapporte aux roches du groupe des Zwölfspitz et renferme une esquisse géologique de la partie supérieure du Vintschgau et de la Valteline (vallées de l'Etsch et de l'Adda). Ces recherches fourniront des points de comparaison utiles pour la géologie de la Suisse orientale, où la classification des grandes masses de calcaires et de schistes sans fossiles offre des difficultés considérables. M. Stache distingue dans cette région les dépôts ré-

cents, les calcaires et les dolomies qui sont probablement en grande partie triasiques, et plusieurs groupes de roches anciennes sur lesquels nous reviendrons plus loin.

*Bavière.* M. GUMBEL [46] a présenté à l'Académie des sciences de Munich l'histoire des recherches géologiques exécutées en Bavière. Nous aurons à revenir sur plusieurs des questions traitées par ce savant géologue.

*Forêt-Noire.* M. SANDBERGER [94] a résumé l'histoire géologique de la Forêt-Noire de l'époque la plus ancienne jusqu'à l'époque triasique. Il en décrit les roches anciennes, gneiss, granits, porphyres et les premiers dépôts sédimentaires. Les terrains les plus récents qu'on observe sur les sommités sont le grès bigarré inférieur (grès vosgien) qui se termine par un banc de cargneule. Le grès bigarré supérieur se trouve dans la vallée du Rhin dont la formation date de cette époque, mais il fait entièrement défaut aux parties les plus élevées de la Forêt-Noire et des Vosges. On voit que M. Sandberger se rattache complétement, pour l'époque du soulèvement de ces massifs, à l'opinion la plus généralement adoptée et exposée aussi par M. Platz (Rev. pour 1876, 132).

### Roches, géologie dynamique, etc.

*Minéraux et roches.* M. CURIONI [21] a décrit les divers gisements dans la Lombardie des minéraux et roches se rapportant aux genres suivants : silice, soufre, arsenic, baryte, chaux, manganèse, fer, nickel, zinc, mercure, plomb, cuivre, or; puis des silicates, des combustibles fossiles (anthracite, lignite, tourbe, pétrole, bitume), de divers minéraux métallifères et des roches de construction.

M. GUMBEL [45] a fait l'étude du porphyre quartzifère (Felsitporphyr) et de la rétinite qu'il a observés dans le Tyrol méridional, dans le Höllenbachthal, près de Tisens et de Castelruth et dans les environs de Recoaro. La rétinite porphyroïde (pechsteinporphyr) de Castelruth est une masse vitreuse noire, ayant l'aspect de la poix et renfermant des grains de quartz et des particules de feldspath vitreux ; elle est étroitement liée au porphyre quartzifère de cette région. M. Gumbel ne croit pas, comme quelques auteurs, que ce soit une seule et même roche qui aurait pris lors de son refroidissement deux aspects différents ; ce sont, d'après cet auteur, deux roches primitivement distinctes qui ont fait éruption en même temps. Nous renvoyons à son mémoire pour leurs descriptions et leurs analyses de ces diverses roches.

*Recherche de la houille.* M. A. Muller [74] a publié une coupe très détaillée du sondage de Rheinfelden d'après le noyau retiré du trou de sonde. Je renvoie sur ce sujet à ce que j'en ai dit antérieurement (Rev. pour 1876, 129; 1875, 352).

Après l'infructueuse tentative de Rheinfelden, des sondages ont été faits dans une autre localité de l'Argovie, à Zeiningen; ils ont amené la découverte de petits bancs de houille.* Il est très-probable que ce combustible n'appartient pas au terrain houiller, mais au Keuper (Lettenkohle) et que ce sont des amas locaux, plutôt que des bancs susceptibles d'exploitation.

M. GUMBEL [46] a rendu compte des nombreuses tentatives faites dans le Wurtemberg de 1835 à 1875, pour trouver de la houille le long du pied de la Forêt-Noire. Il

* *Grenzpost*, 17 novembre 1877.

est résulté de ces recherches que les dépôts du terrain houiller sont très-faibles dans cette région et ne renferment pas de combustible.

*Sources.* Le groupe des sources des eaux minérales d'Évian est situé, d'après M. Ébray [26], sur une ligne dirigée N.N.E. passant aussi par celles de St-Jeoire et du Petit-Bornand; toutes les sources d'Évian sont disposées sur une ligne E.-O. Or les failles de la Savoie obéissent à ces deux directions, dont la première a déterminé les hautes arêtes, la seconde les cluses de ce pays. Cette dernière est parallèle au lac.

D'après une communication de M. Cazin [13], on a découvert récemment au village de Châtillon, situé sur le col par lequel passe la route de Cluses à Taninge, des sources abondantes de gaz hydrogène carboné, mêlé en quelques endroits d'hydrogène sulfuré. La plupart des dégagements gazeux ont lieu en plein air. La source s'étend sous les maisons du village; plusieurs des habitants se servent de ce gaz inflammable pour faire la cuisine.

*Faciès sarmatique.* M. Fuchs [37] a recherché quels sont les caractères de l'étage sarmatique, et les conditions nécessaires au développement du faciès de ce terrain; ces dépôts se font remarquer par l'absence de coraux, d'éponges, de bryozoaires, d'échinodermes, de céphalopodes, de brachiopodes, ainsi que de tous les grands lamellibranches et gastéropodes à coquille épaisse et ornée, de sorte que la faune n'est plus guère composée que de bivalves de grosseur moyenne, peu remarquables, répandus en grande abondance. Ils se trouvent dans des calcaires et des grès en bancs minces, des marnes et des lumachelles, ainsi que des oolites de nature particulière; on y observe souvent du gypse et du sel. On a expliqué ce

singulier faciès en disant que c'est un dépôt saumâtre, ou littoral, ou qu'il est le résultat d'une invasion des mers septentrionales, hypothèses que M. Fuchs réfute successivement. Cet auteur constate que plusieurs des dépôts sédimentaires européens, le zechstein en Russie, dans l'Allemagne du Nord et en Angleterre, le muschelkalk en Allemagne, les couches de Raibl dans les Alpes, les couches à *Avicula contorta* hors des Alpes et le faciès souabe de ce même horizon dans ces montagnes, participent à ces mêmes caractères, Il attribue ces dépôts à des mers fermées, communiquant avec l'Océan par un canal étroit, comme la mer Méditerranée ou la mer Noire. Les causes de l'appauvrissement de la faune sont, soit la diminution du sel, soit le fait que les régions inférieures sont privées de la grande circulation océanique qui renouvelle l'air même dans les parties les plus profondes de l'Océan. La mer Noire, les grands lacs de l'isthme de Suez, la mer qui borde la côte occidentale de la Floride nous fournissent aujourd'hui des exemples de faunes semblables, mais celles-ci ne peuvent être prises comme caractérisant une époque ; les types de chaque période doivent être cherchés dans leurs équivalents océaniques. C'est ainsi que celui de l'époque miocène appartient à l'Europe occidentale, tandis que, dans l'Europe orientale, le faciès sarmatique est dominant ; le terrain rhétien des Alpes, à l'exception du faciès souabe, contient la faune normale, tandis que ce faciès a le caractère sarmatique ; les faunes d'Esino et de St-Cassian sont le faciès normal et les faunes de Raibl le faciès sarmatique, etc.

*Tremblements de terre.* Un tremblement de terre a eu lieu dans une bonne partie de la Suisse le 6 octobre

1877 *. Il a été observé à Genève à 5, 17 $^1/_2$ h. du matin; cinq ou six légères oscillations ont précédé trois fortes secousses, et coïncidé avec un bruit sourd. Une première secousse plus légère paraît avoir été ressentie à Genève et à Morges vers 4 heures du matin.

Le phénomène a été constaté sur un espace qui s'étend de Valence au sud à Mulhouse au nord (367 kilomètres), de Lyon à Sion (220 kilomètres); il a été observé dans la Savoie jusqu'à Sallanches, dans le Valais jusqu'à Sion, dans les Alpes vaudoises à Rossinière. On est d'ailleurs peu d'accord sur la direction de la secousse, les principales appréciations indiquent S.O.-N.E.; N.E.-S.O. et S.E.-N.O. En dehors de la région indiquée, il a été éprouvé à Tœplitz (Bohême), dans l'Erzgebirge, et à Malcesine (Haute-Italie). M. de Tribolet[108] a rendu compte de ce phénomène.

Un autre tremblement de terre a eu lieu le 22 octobre à 9 h. 55 m. du soir à Zermatt et il a été observé à Bérisal sur la route du Simplon.

Le tremblement de terre ressenti dans la Suisse orientale le 2 mai 1877 à 8,40 h. du soir, a été l'objet d'un rapport de M. Heim[53] qui est le résultat de ses propres recherches et de 207 communications qui lui ont été adressées. Le centre de la secousse a été la partie méridionale du canton de Zurich, les parties voisines du canton de Schwytz et le Toggenburg. Elle a été très sensible à Sargans, à peine sentie à Ragatz, très-forte à Altdorf, inaperçue à Erstfeld. La limite en est bien marquée au S. et à l'E., où elle s'est arrêtée à la chaîne du Calanda-Tödi-Windgälle; elle est vague au N. et à l'O.

* *Journal de Genève*, 8-30 octobre 1877.

où elle s'étend jusqu'au Jura de Souabe et à la Forêt-Noire. Les appréciations sur la nature et la direction du mouvement ont été très variées ; elles permettent de conclure que la secousse est partie d'une ligne ou d'une zone parallèle à la direction des Alpes. Elle a généralement été faible, mais elle a été accompagnée d'un bruit assez fort et elle n'a duré que peu de secondes. Elle n'a eu aucune influence sur les eaux des lacs. Ce tremblement de terre semble dû à un mouvement des couches dans l'intérieur du sol, qui aurait été le résultat d'une fente ou d'un affaissement et qui aurait eu lieu à une faible profondeur dans l'écorce terrestre.

*Failles et soulèvements. Alpes.* Il existe deux théories sur la formation des Alpes; l'une envisage les roches cristallines comme des roches éruptives (Studer), l'autre les regarde comme des roches passives, soulevées de même que les autres roches sédimentaires et ayant formé comme elles des voûtes desquelles résulte la structure en éventail ; c'est ainsi que M. A. Favre explique la structure du Mont-Blanc.

Les recherches faites par M. Heim [51-52] dans le massif du Finsteraarhorn sont favorables à cette dernière théorie. Le soulèvement des Alpes n'est pas causé par des roches éruptives. Celles-ci sont restées passives pendant ce phénomène. Les massifs centraux sont formés par des voûtes et des plis des roches cristallines qui étaient d'abord couvertes par des terrains de sédiment et ont été plissées comme eux par des mouvements de contraction de l'écorce terrestre. Les contournements des couches, la schistosité, l'étirement de certaines roches, les surfaces de glissement qu'on observe surtout dans les montagnes sont le résultat des forces qui ont froissé l'écorce du globe. Les roches

sur lesquelles cette force agissait, étaient déjà aussi consistantes qu'aujourd'hui. On a cru que les plis étaient le résultat d'un gonflement des terrains provenant de modifications chimiques ; mais le fait que les couches sont toujours plus épaisses au milieu des voutes que sur les côtés et la disposition relative des plis montrent que ceux-ci résultent d'une force agissant du dehors sur le massif montagneux. Des contournements sans fractures sont possibles tant que la pression est plus forte que la cohésion de la roche. Beaucoup de roches sont tellement modifiées par ces pressions qu'aucun millimètre cube n'a gardé sa position primitive ; c'est un métamorphisme mécanique des roches.

M. A. Favre a admis que le Salève est sur le prolongement de la ligne anticlinale de la mollasse qui a été observée dans la Bavière et la Suisse. M. Ébray [28] croit au contraire que l'axe anticlinal qui va de Lausanne à Étrembière au pied du Salève, se termine par la grande faille qui marque le revers nord de cette montagne et qu'il est différent de celui de la Bavière. On devrait en trouver la continuation dans la plaine suisse dans la vallée de l'Aar.

*Jura.* M. Mühlberg [73] a fait une étude spéciale de la structure du Jura argovien entre le Hauenstein et Schinznach. C'est le muschelkalk qui y est le terrain le plus ancien ; les mouvements qu'il a subis ont dessiné le relief de toute la contrée ; ils sont de trois natures : 1° Soulèvement vers le nord, se renouvelant dans plusieurs chaînes parallèles dirigées E.-O. ; les méridionales sont produites par des failles, les septentrionales sont une combinaison de failles et de glissements ultérieurs. 2° Soulèvements vers l'ouest, moins fréquents ; failles dirigées du

nord au sud. 3° Troisième direction avec recourbement horizontal des chaînes vers le sud et le nord. Dans les failles combinées de glissements, c'est toujours la lèvre méridionale qui recouvre la lèvre septentrionale M. Mühlberg pense que la pression est venue du sud, qu'elle s'est maintenue plus longtemps à l'ouest qu'à l'est; il y a eu en même temps une pression de l'est à l'ouest. La limite entre les chaînes et le plateau du Jura est marquée par un glissement considérable des terrains les uns sur les autres. L'auteur ne peut admettre la théorie des contournements par laquelle M. Mœsch a interprété la structure de cette région; il croit, comme M. Muller, que cette structure ne peut s'expliquer que par des failles combinées avec des glissements.

M. A. Muller [75] soutient depuis longtemps la thèse que les dispositions singulières observées dans les dépôts du Jura bâlois ne proviennent pas de contournements, mais de superpositions dues à des glissements. Le Jura n'a pas été soulevé, comme le croient beaucoup de géologues, en une seule fois par une force latérale venant du sud, mais la formation de cette chaîne est le résultat de forces diverses ayant agi à plusieurs époques les unes latéralement, les autres verticalement.

Les coupes du Jura bâlois données par l'auteur montrent de la manière la plus évidente ces superpositions si anomales, qui ne peuvent s'expliquer par des voûtes ou des plis et qui présentent sur de grandes étendues les couches disposées dans l'ordre suivant ABCDABCD. Ces coupes sont très communes dans la chaîne du Wiesenberg au Mont-Terrible; elles laissent voir quelquefois encore la superposition d'une nouvelle série et elles ont été le résultat de mouvements successifs.

Les 3 à 4 zones parallèles de muschelkalk de cette chaîne présentent toutes le même plongement vers le sud. On n'y observe aucune disposition des couches en voûtes, mais elles sont formées par une série de failles fréquemment accompagnées de glissements des terrains les uns sur les autres. Les diverses assises de la chaîne septentrionale de muschelkalk ont été repoussées avec un plongement au sud sur les couches de la grande oolite, de l'oxfordien, du corallien et du tertiaire qui plongent de la même manière et qui recouvrent elles mêmes les formations du plateau jurassien. Il y a donc eu là double soulèvement et glissement, mais il n'y a pas de voûte. Les couches soulevées étaient rejetées vers le nord. La formation de la chaîne du Wiesenberg et du Mont-Terrible est le résultat non d'une pression latérale, mais d'une pression verticale ; elle est donc indépendante du soulèvement du Jura méridional et occidental. La formation de voûtes et de plis ne se voit dans cette chaîne qu'à l'ouest de Bretzwyl, c'est-à-dire à l'ouest de la ligne qui marque la limite occidentale de la Forêt-Noire et se continue au sud jusqu'à Nünningen. C'est probablement le prolongement souterrain de ce massif qui a résisté à la pression qui a soulevé le reste du Jura et qui a causé les fractures et les glissements qui caractérisent cette région.

M. Muller donne à l'appui de cette théorie plusieurs coupes dans le détail desquelles je ne puis entrer ; je me bornerai à reproduire ici une partie de la coupe de la galerie d'écoulement du tunnel du Hauenstein où s'observe une superposition de cette nature; elle est prise du nord au sud et toutes les couches plongent au sud :

Brèche calcaire rouge, tertiaire, reposant partout dans les environs sur l'oxfordien, 300′; argile sidérolithique rouge, 100′; argile salifère et gypse du muschelkalk reposant en concordance sur le tertiaire, 190′; dolomie blanche, marneuse, gypsifère, 300′; argile salifère et gypse, 500′; anhydrite, 200′; dolomie du muschelkalk.

*Érosion.* M. PFAFF [80] a estimé le volume du massif du Mont-Blanc limité aux vallées de l'Arve et de la Doire et aux cols de Balme, du Bonhomme, de la Seigne et Ferret. Sa hauteur moyenne est de 2891$^{m}$. Des gorges profondes séparent des arêtes dentelées qui se dirigent vers le sommet de la montagne. Une des plus grandes d'entre elles est celle qui est remplie par le glacier du Miage. Elle a été formée par érosion et le volume du terrain enlevé est de 10,300,000,000 mètres cubes. Par divers calculs sur les matériaux entraînés par les fleuves et les torrents de glaciers, on peut obtenir une évaluation du temps employé par les eaux à creuser cette gorge. M. Platz arrive au chiffre de 2 $^{1}/_{2}$ millions d'années qui ont dû commencer seulement après le dépôt des terrains jurassiques dans cette contrée. Sans vouloir attacher d'importance à ce résultat, l'auteur montre cependant que de nombreux calculs dans ce genre pourraient amener à une approximation de la durée des temps géologiques.

La vallée du Miage est presque entièrement creusée dans le micaschiste, roche qui se désagrége très facilement. On peut conclure d'expériences faites par M. Hilger sur un bloc de micaschiste qu'il ne faudrait que 640,000 ans pour que les agents atmosphériques enlèvent une quantité correspondant à celle de la vallée du Miage à une masse de micaschiste de grandeur proportionnelle.

## II. Terrains.

### Terrains primaires.

Les recherches faites par M. Baretti [6] dans le massif du Grand-Paradis prouvent que le granit central n'est point une roche distincte du gneiss central ou ancien; il en est simplement une variété locale. Celui-ci est généralement une roche à gros grains; il présente des variétés, laminaire, granitoïde, porphyroïde; il se distingue facilement du gneiss récent; il renferme beaucoup de feldspath, parfois de l'amphibole et de la tourmaline, des intercalations de marbre saccharoïde, de stéatite, de graphite, et l'on y trouve de nombreux minéraux, ématite, galène argentifère, etc. C'est une roche sédimentaire, métamorphique, régulièrement stratifiée. Les parties granitiques sont celles qui ont subi le métamorphisme le plus complet.

Les roches cristallines anciennes constituent les masses du Grand-Paradis, du Mont-Blanc, du Mont-Rose; les terrains cristallins plus récents se relèvent de tous côtés vers ces centres, et forment des dépressions, des enfoncements dans les régions intermédiaires. La vallée d'Aoste est la dépression entre les deux soulèvements du Grand-Paradis et du Mont-Rose, s'exhaussant en amont d'Aoste contre le massif du Mont-Blanc. La zone des terrains cristallins plus récents, ou zone de la pierre verte, repose sur la précédente et constitue une partie importante de la masse du Grand-Paradis. Elle est formée de roches magnésiennes très variées, et souvent de couleur verte; elle avait été d'abord divisée par les géologues italiens en trois groupes: 1° zone calcaréo-magnésienne, 2° zone micacée feldspathique (gneiss et micaschistes récents),

3° zone éruptive ; mais M. Baretti y introduit une autre classification :

A. *Roches stratifiées*. Ce sont : 1° Les roches à silicates de magnésie, la serpentine, la diorite, l'amphibolite, l'euphotide et la lherzolite. 2° Les roches feldspathiques; le meilleur type en est le gneiss récent qui se distingue du gneiss ancien par sa structure plus fine, une plus grande abondance de quartz, l'absence de la structure porphyroïde, la moindre épaisseur de ses couches et sa stratification très-nette. M. Baretti range dans le même groupe le porphyre amphibolique, le granit syénitique de Valchiusella et la syénite de Cogne. 3° Roches calcaires, calcaires saccharoïdes, calcaires cristallins, micacés et calcschistes. 4° La grenatite et le gypse.

B. *Roches massives*, que l'auteur regarde comme un équivalent géologique des roches vertes et qui sont composées d'euphotide, de diorite, de granit syénitique.

C. *Roches massives cristallines* : euphotide, serpentine, lherzolite, diorite, gabbro, granit.

Cette zone renferme de nombreux minéraux. Elle est entièrement sédimentaire et métamorphique, la diversité de ses roches provenant de la variété des éléments qui constituaient les sédiments primitifs.

Les terrains paléozoïques du versant S.E. du massif sont des calcaires compactes, gris, des schistes argileux phtanitiques, des grès et la grauwacke ; ils sont souvent en discordance avec les terrains cristallins.

Après avoir comparé ces terrains avec les roches de même nature dans divers pays, M. Baretti conclut comme M. Gastaldi que le gneiss ancien est l'équivalent du laurentien inférieur ; les terrains cristallins plus récents correspondent au laurentien supérieur, à l'huronien et au cambrien, et les calcaires dolomitiques appartiennent au silurien inférieur.

M. Gastaldi [40] a décrit dans divers travaux la grande

zone de *pierre verte* qui constitue une partie des Alpes italiennes (Rev. pour 1875, 136). Une grande masse de quartzite formant la pyramide du Pelvo appartient à cette zone et se prolonge de la vallée de la Varaïta dans celle de la Macra, dans laquelle se trouve aussi un banc de dolomie fossilifère, semblable à celle du Chaberton. La zone de la pierre verte est très puissante dans cette vallée. Il y a dans cette partie des Alpes deux ellipsoïdes de gneiss ancien; l'un (Mont-Rose, Grand-Paradis et Cornour) entièrement entouré de la zone de la pierre verte; l'autre (Mercantour, les Écrins, Mont-Blanc) entouré de roches variées. Il est très probable que ces ellipsoïdes sont reliés entre eux et que le gneiss ancien forme une zone continue sur laquelle s'est déposée la zone de la pierre verte sans que les roches qui la composent l'aient traversée par éruption. Dans les vallées du Pô et de la Varaïta, celles-ci sont constituées par des serpentines, des euphotides, des roches épidotiques, des calcschistes et des quartzites; dans le Val Macra par des calcaires cristallins, des quartzites et des calcschistes, des gypses et des cargneules. Il y a dans ces vallées trois horizons de quartzite, qui se trouvent dans le gneiss central, dans la pierre verte et dans le terrain paléozoïque; ce sont des roches stratifiées comme les porphyres et les mélaphyres de la pierre verte.

Les calcaires se trouvent également dans les deux premiers de ces terrains et dans la zone paléozoïque anthracifère; ces derniers sont semblables à ceux du Chaberton et aux calcaires du Briançonnais. Ce sont des calcaires dolomitiques; on y trouve de l'anthracite* semblable à celle de la Savoie, associée, comme au Chaberton, à des

* L'analyse de cette anthracite donne charbon fisso 74.16; cendre 21.97; matières volatiles 1.61; eau 2.26.

fossiles paléozoïques et dont M. Gastaldi signale cinq gisements. Ces fossiles (*Cyatophyllum, Propora, Stictopora?* gastéropodes, *Ophileta, Cyrtolithes* et quelques restes douteux des céphalopodes), très mal conservés, paraissent caractériser le terrain paléozoïque.

La pierre verte (serpentine, euphotide, diorite, variolite) n'a soulevé aucun terrain; elle est un dépôt stratifié; la seule roche qui ait soulevé les autres est le gneiss central; les roches ont été modifiées par le métamorphisme.

La coupe donnée par M. Gastaldi et qui s'étend d'Envie au col de Soutron (2629$^{m}$) présente du sud au nord, et avec un plongement constant des couches vers le nord, la succession suivante: 1° gneiss avec intercalation de quartzite; 2° zone de la pierre verte (*a* calcschiste, *b* serpentine, *c* euphotide, *d* calcschiste, *e* quartzite, *f* calcschiste, *g* quartzite, *h* calcaire cristallin, *i* quartzite); 3° terrain paléozoïque, calcaire dolomitique fossilifère avec anthracite.

M. Stache [99] distingue, dans les roches schisteuses du haut des vallées de l'Etsch et de l'Adda, les groupes suivants à partir des plus récents:

I. Roches talqueuses, phyllades quartzeux et gneiss (grauwacke alpine). Ce groupe, qui repose sur les roches cristallines anciennes et qui sert de base à celui des calcaires et des dolomies, est difficile à délimiter. Les roches indiquées ci-dessous en sont les principaux éléments et passent fréquemment de l'une à l'autre. Les premières (1-3) en forment généralement la partie supérieure, les dernières (4-6) la base. Elles correspondent aux terrains nommés par Théobald verrucano et schistes de Casanna :

1. Grès bruns et schistes argileux noirs, rappelant les roches du terrain houiller.
2. Grès jaunes et schistes clairs de couleurs variées, très-talqueux.
3. Schistes talqueux verts et blancs (Sericitschiefer *pars*), grès tal-

queux passant à des conglomérats, des brèches et des arkoses gneissiques, roches identiques à celles du Tyrol septentrional, de la Carinthie et de la Styrie (verrucano, sernifite, schistes de Sernf). Ces roches paléozoïques ressemblent surtout au quartzite du Taunus.

4. Schistes argileux et argileux micacés; roches de couleur foncée ; ils contiennent des phyllades quartzeux, des schistes argileux verts, talqueux, chloriteux, etc.
5. Arkoses et gneiss, roches de natures très variées; on y trouve une variété qui paraît identique au gneiss d'Arolla, et des gneiss œillés, liés aux schistes verts et formant avec eux le schiste de Casanna.
6. Roches éruptives andésitiques.

Théobald regardait les schistes de Casanna comme le produit du métamorphisme de grès et de schistes, opinion qui, d'après M. Stache, est en opposition avec les faits et avec le raisonnement.

II. Calcaires cristallins et schistes de la calotte schisteuse (groupe des phyllades calcaires). Cet ensemble de roches repose directement sur le gneiss central. Il a généralement une assez grande homogénéité dans sa nature. On y trouve des dolomies, des mica-schistes calcaires, des schistes chloriteux et des roches phylladiennes vertes. Ces roches passent fréquemment par une transition insensible au groupe des phyllades quartzeux.

III. Phyllade gneissique, schistes amphiboliques et gneiss (groupe des phyllades gneissiques), roches les plus anciennes de cette région, composées d'alternance de phyllades et de gneiss. On reconnaît dans les phyllades les faciès suivants : 1° Faciès amphibolique (schistes amphiboliques variés , éclogite, roches grenatifères et dioritiques, gneiss et granits amphiboliques, tonalite). 2° Faciès euritique et felsitique (roches compactes de couleurs variant du rouge au bleu et au vert et associées à des quartzites). 3° Faciès granitique et 4° faciès de gneiss œillé phylladien.

On observe aussi dans les gneiss plusieurs faciès : gneiss à moscovite, gneiss à biotite, gneiss amphibolique. Gneiss talqueux et à séricite équivalent du gneiss d'Arolla. Ces roches alternent avec des calcaires cristallins peu puissants et avec des schistes argileux plus ou moins micacés. Leur âge est difficile à déterminer.

IV. Roches éruptives et massives, subordonnées aux groupes phylladiens. M. Stache range dans ce groupe des roches granitiques de nature très-diverse, la tonalité (granit amphibolique et dio-

ritique), la diorite et l'amphibolite, les roches diallagiques et la grenatite, la paléo-andésite ou andésite alpine, les roches à olivine et les serpentines, les diabase et protérobase, les porphyres et les porphyrites quartzifères.

Une partie spéciale de ce travail est consacrée à l'étude géologique, minéralogique et chimique de ces deux derniers groupes de roches qui sont très développés dans le Zwölferspitz. Ils offrent une grande ressemblance avec les roches du Fichtelgebirge, décrites par M. Gumbel sous les noms de protérobases et de kératophyres. Ils apparaissent en bancs parallèles aux couches phylladiennes et ont été soulevés en même temps qu'elles ; ces bancs sont le résultat des coulées qui se sont déversées pendant le dépôt des phyllades.

*Contact du gneiss et des terrains secondaires.* Nous devons à M. Baltzer[4] une intéressante étude sur les marbres de l'Oberland bernois et sur leurs rapports avec les roches cristallines de cette région.

On trouve des marbres blancs et des marbres de couleur bigarrée tout le long du massif du Finsteraarhorn et souvent au contact des roches cristallines. Il est très probable, ainsi que cela a déjà été dit à plusieurs reprises, qu'une bonne partie de ces marbres sont un produit du métamorphisme du calcaire jurassique supérieur.

Les coins calcaires qui pénètrent dans le gneiss se terminent souvent par une masse de marbre blanc ; la cause de ce métamorphisme ne doit pas être cherchée dans l'action produite par une roche éruptive ou un magma à une haute température, car on trouve souvent le marbre très loin du gneiss. De plus il n'y a pas de minéraux de contact. La cause doit être mécanique et pourrait être attribuée à la pression exercée lors du soulèvement, jointe peut-

être à une chaleur de friction. Mais tous ces bancs de marbre n'ont probablement pas la même origine.

M. Baltzer a décrit la plupart des coins de calcaires qui ont été observés dans le gneiss des Alpes bernoises (Mettenberg, Laubstock, Pfaffenkopf, Jungfrau). Il a découvert récemment quelques nouveaux exemples de ce singulier phénomène ; on trouve également des coins de gneiss pénétrant dans l'intérieur des calcaires (Gstellihorn, Laubstock). Le coin calcaire de la Jungfrau qui a, au commencement, 300$^{m}$ d'épaisseur, s'étend jusqu'à deux kilomètres dans l'intérieur du gneiss. Une des plus singulières de ces dispositions est celle que l'auteur a reconnue au Gadmenthal, où les sédiments forment deux plis pénétrant dans l'intérieur du gneiss. Il faut avoir recours à la carte et aux coupes jointes à ce mémoire pour se rendre compte de la singularité de la disposition de ces roches ; le gneiss y alterne avec les sédiments et il est tantôt en concordance, tantôt en discordance avec eux.

Le même auteur[5] a décrit ensuite les caractères généraux de la zone de contact du gneiss du Finsteraarhorn et des terrains calcaires entre la vallée de Lauterbrunnen et celle de la Reuss. Les terrains jurassiques sont toujours coupés abruptement vers le sud, formant ainsi de gigantesques escarpements. A l'est de la vallée de l'Aar, les rapports entre ces terrains sont normaux ; à l'ouest se trouvent de grands renversements qui ont ramené le gneiss par-dessus les terrains secondaires ; ces renversements ont eu lieu là où la zone des gneiss a atteint ses plus grandes dimensions ; ils sont de grandeur très variée, et ils ont recourbé sur elles même les couches calcaires.

Les couches du gneiss plongent S. ou S.E. avec une grande régularité ; le calcaire plonge au contraire faiblement vers le nord et ses couches sont parfois très plissées. On a beaucoup discuté pour savoir si, au contact des deux espèces de terrains, ceux-ci se contournent de manière à ce que leurs couches deviennent parallèles. L'observation de ce phénomène est souvent difficile ; si l'on prend la position des feuillets de mica comme direction de la stratification, on ne peut admettre comme règle générale que le gneiss devienne, par des contournements plus ou moins grands, parallèle aux couches du calcaire. Les masses de gneiss qui reposent sur celui-ci sont aussi en discordance. Cependant les couches calcaires prennent parfois localement la direction de celles du gneiss ; l'inverse est aussi vrai dans quelques cas, mais on ne peut observer nulle part, sur une surface un peu étendue, une concordance dans la stratification. Il arrive souvent que le gneiss passe à une structure granitique au contact du calcaire ; la composition minéralogique de la roche paraît cependant la même. On voit souvent aussi dans le gneiss des surfaces de glissement, surtout là où cette roche pénètre dans les calcaires, mais on ne trouve nulle part de métamorphisme de contact.

### Terrains paléozoïques.

Il est difficile de fixer la limite inférieure du terrain carbonifère en Lombardie. M. Curioni [21] divise ce terrain en quatre étages dont l'inférieur appartient peut-être encore au paléozoïque plus ancien.

Ce sont de bas en haut :

1. Quartzites micacés.

2. Quartzites micacés avec dolomie et calcaire intercalés.

3. Dolomie et calcaire noir.

4. Conglomérat, grès à grains fins et schistes à anthracite avec *Sigillaria, Lepidodendron, Annularia.*

Au-dessus viennent des calcaires et dolomies sans fossiles, d'âge indéterminé, puis le terrain permien qui se compose de :

1. Conglomérats et grès porphyrique avec des restes de *Nœggerathia, Walchia,* etc.

2. Schistes gréseux fins, foncés ou noirs et roches bigarrées avec végétaux. *Schizopteris fasciculata, Sphenopteris Suessi, Walchia piniformis, falciformis.*

On trouve dans une grande partie des Alpes une formation de grès rouges, de schistes sableux et argileux et de conglomérats plus ou moins grossiers entre la zone des schistes argileux anciens et la zone des calcaires alpins. Ces roches ont été nommées couches de Werfen, Verrucano, grès de Gröden, couches de Seiss et de Campil et elles ont été classées soit dans le terrain permien, soit dans le grès bigarré. On est généralement d'accord pour attribuer au premier de ces terrains le verrucano et les schistes qui lui sont associés dans le Tyrol méridional; on rapporte au second les couches à *Myophoria costata, Pleuromya Fassaensis, Naticella costata* du Tyrol septentrional (couches de Seiss et de Campil du Tyrol méridional) qu'on regarde comme l'équivalent du Röth ; mais on discute sur l'âge des couches intermédiaires. Dans celles-ci se trouve le calcaire à *Bellerophon* que M. Stache a regardé d'abord comme un intermédiaire entre le Dyas et le Trias et a ensuite comme un équivalent du Zechstein, tandis que M. Gumbel en a considéré la faune

comme un reste d'une faune paléozoïque qui se serait perpétuée jusqu'à l'époque triasique. Cet auteur[46] a découvert près du village de Mazzon, dans le grès de Gröden, un gisement de plantes qui paraissent identiques aux plantes permiennes que M. Heer a décrites de Fünfkirchen (*Voltzia hungariaca, Baiera digitata, Ullmannia Bronni, U. Geinitzi, Carpolithes*, etc.).

Ce grès est recouvert de dolomies jaunes que M. Gumbel regarde comme équivalentes du calcaire à *Bellerophon* et qui sont surmontées des couches de Seiss. Le schiste à *Ullmania* appartient au terrain permien supérieur, le calcaire à *Bellerophon*, dont la faune a un caractère mixte, à ce terrain ou au grès bigarré inférieur. Il est probable que le calcaire de Schwaz est un équivalent de ce dernier niveau dans le Tyrol septentrional.

M. Stache[98] a fait l'étude d'une partie de cette faune (céphalopodes et gastéropodes). Elle n'a pas le faciès typique de la faune européenne du Zechstein ; mais son caractère nettement paléozoïque la sépare complétement du trias. L'auteur caractérise tous les gisements où ce terrain a été reconnu et il en décrit les fossiles qui se rapportent presque tous à des formes nouvelles *.

### Terrains mésozoïques.

Trias. Les plantes trouvées dans le terrain triasique de la Suisse ont été décrites par M. Heer[50] ; elles sont peu nombreuses. Le grès bigarré en renferme une seule espèce, *Equisetum Mougeotii*, provenant de Rheinfelden ; le muschelkalk deux : *Cylindrites cæspitosus, Voltzia hete-*

* Voyez dans ce mémoire (p. 274) la liste des travaux qui se rapportent à ce terrain.

*rophylla.* Elles sont plus nombreuses dans le Keuper ; quelques gisements du canton de Bâle en ont fourni 26 espèces, parmi lesquelles de remarquables échantillons * ; celles de Moderhalde et d'Asp, au nombre de 20, appartiennent au *Lettenkohle,* celles d'Humiken et d'Ormelingen (11 sp.) ont été recueillies dans un grès qui correspond au *Schilfsandstein.* Cinq espèces sont communes à ces deux horizons. Ce sont : *Pecopteris angusta, Danæopsis marantacea, Equisetum arenaceum, Petrophyllum Jægeri, Pt. longifolium.*

Les rapports de ces flores entre elles et avec les flores correspondantes de la Souabe montrent que ces deux terrains sont contemporains et que leurs caractères particuliers tiennent plus à des faciès locaux qu'à une différence chronologique. Deux espèces sont communes au Keuper et au grès bigarré, *Voltzia heterophylla, Schizoneura paradoxa;* aucune ne passe au terrain rhétien ou jurassique.

Un seul gisement de plantes du Keuper est connu dans les Alpes suisses ; il se trouve entre les deux Mythen (Schwytz) et a été découvert par M. Kaufmann. Les deux espèces qui y ont été recueillies sont nouvelles (*Equisetum Mytharum* et *E. triphyllum*) ; la première est très-voisine de l'*E. arneaceum.* Une aile d'un insecte appartenant à un genre triasique, le *Chauliodites helveticus* a été trouvée avec elles.

Ce terrain est d'après M. Kaufmann [60] le plus ancien qu'on observe aux Mythen ; c'est une argile de 70$^{m}$ d'épaisseur qui renferme des traces de charbon et les restes de plantes indiquées ci-dessus. Il est sur-

* 4 nouvelles espèces ont été découvertes depuis lors et décrites par M. Heer.

monté d'une dolomie, recouverte elle-même par des schistes exactement semblables à ceux qu'Escher a nommés schistes de Quarten. Cet ensemble de couches appartient au terrain triasique.

En opposition avec la théorie de M. CHAVANNES [14] sur l'origine des gypses et des cargneules (Rev. pour 1875, 357), M. RENEVIER [86] considère ces roches comme formées dans des mers intérieures ou lacs salés, analogues à la mer Morte ; il en a expliqué la formation dans les *Archives*. M. SCHNETZLER [95] a soutenu la même idée en comparant le dépôt de ces terrains à ceux qui s'opèrent encore aujourd'hui sur les bords de la mer Caspienne :

« Le golfe de Korabugas, situé sur la côte orientale, forme une des parties les plus salées de la mer dont il est séparé par une barre. Il ne reçoit point d'affluent, mais à mesure que ses eaux s'évaporent, elles sont remplacées en partie par l'eau de la mer. La conséquence naturelle de cette évaporation est la concentration de l'eau salée du golfe ; dès que celle-ci a atteint une densité de 1,033, la sulfate de calcium qu'elle tient en dissolution, commence à se déposer. Après le gypse, le sel gemme se dépose en masses transparentes et cristallines. A mesure que le dépôt de sel gemme augmente, les eaux mères du bassin s'élèvent peu à peu jusqu'au niveau de la barre. Le sulfate de calcium, arrivant avec les eaux de mer dans le bassin salifère, abandonne peu à peu aux sels de magnésium des eaux mères ses deux molécules d'eau d'hydratation et se dépose comme anhydrite autour du dépôt de sel gemme.

« A Bex le gypse se trouve en grandes masses à l'état amorphe et cristallisé comme sélénite.... La roche salée est toujours limitée et entourée par l'anhydrite. Le sel gemme est ordinairement répandu dans des couches de marnes

très dures. Les deux bandes de gypse en forme de croissant, que de Charpentier croyait alterner avec le calcaire de transition, ne sont, d'après M. Renevier, que des affleurements anticlinaux du trias séparés par des plis synclinaux remplis de calcaire liasique. »

L'ensemble des calcaires et des dolomies qui se trouvent dans le Tyrol occidental au-dessus des étages des phyllades appartient en grande majorité au terrain triasique et aussi à des terrains plus anciens. Ces roches réclament encore des recherches attentives ; la rareté des fossiles rend leur classification difficile. M. Stache [99] est disposé à regarder comme les équivalents de ces terrains les grandes masses de phyllades argilo-calcaires du haut de l'Engadine que M. Théobald a classées dans le lias.

M. Curioni [21] distingue dans le terrain triasique de la Lombardie les subdivisions suivantes :

Terrain triasique inférieur.

1. Conglomérat et grès bigarré (*Naticella costata*, *Myacites Fassaensis*).
2. Schistes argileux métallifères (Servino, muschelkalk) ; mêmes espèces, plus *Posidonomya Claræ*, *Pecten Margaritæ*, *Avicula socialis*, *Encrinites liliiformis*.
3. Calcaire dolomitique, farineux. Cargneule avec traces de *Myacites Fassaensis*.
4. Argile gypsifère sans fossiles.

Terrain triasique supérieur.

1. Étage à *Trachyceras* (St-Cassian). Dolomie et calcaire. Muschelkalk supérieur, *Trach. Aon*, *Halobia Lommeli*, *rugosa*, *Pterophyllum Jægeri*.
2. Calcaire et dolomie métallifère. *Ammonites globosi*.
3. Étage à *Gervillia bipartita*. Calcaire marneux riche en fossiles. *Myoconcha Lombardica*, *Myophoria Kefersteini*, *Whatleyæ*, etc.
4. Étage à *Avicula exilis*. Calcaire et dolomie. *Gyroporella annulata*, *Megalodus Gumbeli*.

TERRAIN RHÉTIEN. Le terrain infraliasique de la Lombardie se compose d'après M. CURIONI [21] des trois subdivisions suivantes :

1. Marne à *Bactryllium. B. striolatum* Hr., *Avicula contorta.*

2. Calcaires puissants alternant avec des marnes. *Rhabdophyllia longobardica, Terebratula gregaria, Avicula contorta.*

3. Calcaire marneux à *Plicatula instusstriata, Avicula contorta, Cardita Austriaca.*

TERRAIN JURASSIQUE. L'étude faite par M. HEER [50] des plantes fossiles de la Suisse lui a fait reconnaître dans le terrain jurassique, y compris le terrain rhétien, 104 plantes, dont 62 sont marines, 41 terrestres et une d'eau douce. Elles se répartissent de la manière suivante :

*Terrain rhétien.* 3 espèces de *Bactryllium* et le *Chondrites liasinus.*

*Lias inférieur.* Marnes des Schambelen. 26 espèces (7 marines, 19 terrestres) ; ce sont 9 fougères, 5 cycadées, 4 conifères, 2 monocotylédones, 5 algues.

*Lias supérieur.* Schistes à Posidonyes de l'Argovie, plantes marines. Chaîne du Stockhorn, plantes marines et terrestres. Bex, plantes terrestres. Piz Padella (Engadine), Algues. Ganei (Prättigau), gisement douteux. Bouveret (Valais).

*Bajocien.* 9 esp. Plantes marines ; la plus commune est le *Taonurus scoparius.*

*Bathonien.* Alpes fribourgeoises et Stockhorn ; plantes marines et terrestres.

*Callovien.* Quelques fucoïdes et graines de Cycadées (Delémont).

*Jura blanc.* Quelques espèces terrestres et marines. *Chara Jaccardi* (Purbeck).

Total : 62 algues, 12 fougères, 2 équisétacées, 16 cycadées, 10 conifères, 2 monocotylédones.

La Suisse fournit donc un très riche contingent de plantes marines. La flore terrestre est beaucoup plus

pauvre; elle indique cependant que pendant toute cette époque, il y a eu dans notre pays des terres fermes sur lesquelles vivaient des fougères, des cycadées, des conifères ; cette flore ressemble beaucoup à celle de la France à la même époque.

M. Rupert Jones [58] a critiqué l'ouvrage de MM. Kubler et Zwingli sur les Foraminifères du Jura suisse (Rev. pour 1871, 34). Il a montré qu'il fallait introduire des modifications considérables dans les noms des genres et des espèces et que le nombre de celles-ci est beaucoup moins grand que ne l'ont indiqué ces auteurs. La nature des roches dans lesquelles sont enfermés ces organismes rend, du reste, leur étude très difficile.

M. de Tribolet [106] a publié un catalogue des Posidonomyes jurassiques. Il donne une diagnose de la *Posidonomya alpina* Gras, espèce très commune dans les Alpes dans les couches de Klaus, du midi de la France jusque dans l'Europe orientale et qu'il regarde comme identique à la *P. ornati* Qu.

*Lias et terrain jurassique inférieur. Alpes.* M. De la Harpe [23] a reconnu, dans le terrain liasique du Torrenthorn, près de Louèche-les-Bains, plusieurs horizons caractérisés par des couches différentes : 1° calcaire à pentacrines ; 2° schistes noirs ; 3° calcaire à bélemnites ; les fossiles qui y sont contenus sont très voisins des espèces suivantes, s'ils ne leur sont pas identiques : *Belemnites niger* List., *elongatus* Mill., *Janus* Dum., *breviformis* Voltz, *brevis* Blainv. ; 4° calcaire bréchiforme ; 5° grès et calcaire siliceux, ressemblant beaucoup à la pierre d'Arvel près de Villeneuve, et contenant *Amm. bisulcatus* Brug., *Amm. Moreanus* d'Orb., *Gryphea cymbium* Lam.

M. Greppin [42] a découvert à la montagne de l'Amone,

dans le Val Ferret, une faune remarquable du terrain bajocien, dans des calcaires adossés à des roches cristallines et dans lesquels on exploite des pyrites. Les fossiles recueillis se rapportent aux espèces suivantes :

Serpula socialis, Goldf.
Gervillia Hartmanni, Goldf.
Pecten personatus, Ziet.
Phillis, d'Orb.
articulatus, d'Orb.
aequivalvis, Sow.
Hinnites abjectus, M. et L.
Rhynchonella quadriplicata, Ziet.
Cidaris Zchokkei, Des.
cucumifera ? Ag.
Montlivaltia cupuliformis, E. et H.
Thamnastrea fungiformis, E. et H.
plus *Belemnites, Pholadomya, Lima, Pentacrinus, sp. ind.*

M. C. Moesch [74] a résumé les observations qu'il a faites dans les Alpes bernoises en 1876. Elles portent spécialement sur la nature des terrains jurassiques. Le lias ne se voit qu'au bord du lac de Brienz sur la route de Böningen à Iseltwald où un rocher de lias moyen renferme : *Belemnites paxillosus, Pecten æquivalvis, disciformis, Gryphea obliqua.*

L'oolite ferrugineuse de l'Erzplatz, près de Lauterbrunnen, est identique à celle de Blegi (Glærnisch) et appartient aux couches supérieures à *Amm. Parkinsoni;* elle renferme *Belemnites canaliculatus, Ammonites orbis, arbustigerus, Hinnites Morrisii.* Elle se retrouve sur le chemin de Lauterbrunnen à Wengen. On voit près de ce village les couches de Klaus à *Posidonomya alpina.*

Le terrain jurassique inférieur de la Wengernalp est formé des horizons suivants :

Couches à *Amm. opalinus* avec *Equisetum Veronense*, alternant avec des couches quartzeuses semblables à celles du lias du Glærnisch.

Couches à *Amm. Murchisonæ* (Wengernalp, Lauberhorn, etc.), Sow.

Ammonites Murchisonæ.
Trigonia decorata, Ag.
costellata, Ag.
Astarte Voltzii, Goldf.
Mytilus Sowerbianus, d'Orb.
Modiola gregaria, Ziet.
Pecten Saturnus, d'Orb.
pumilus, Lam.
Lima semicircularis, Goldf.

Couches à *Amm. Humphriesianus* avec *Zoophycos scoparius.*

Le massif du Faulhorn n'est formé que de terrain jurassique inférieur. Les divers horizons de ce terrain sont développés dans les environs du Giessbach et de l'Iseltenalp. On trouve l'*Avicula echinata*, fossile caractéristique de la grande oolite dans le Jura bâlois, avec les *Amm. oolithicus* et *Parkinsoni*. Ces mêmes terrains se retrouvent dans la vallée de l'Aar.

L'oxfordien est bien représenté dans toute cette région; les fossiles provenant de l'Iseltenalp, Laucherhorn, Männlichen, Osltschialp, Wandelalp, Ey, etc., sont à l'état pyriteux. Ce sont:

| | |
|---|---|
| Ammonites tortisulcatus d'Orb. | Ammonites arduennensis d'Orb. |
| Puschi, Opp. | anceps, d'Orb. |
| hectitus, Reih. | plicatilis, d'Orb. |
| punctatus, Stahl. | Martelli, Opp. |
| Suevicus, Opp. | Backeriæ, Sow. |
| sulciferus, Opp. | perarmatus, d'Orb. |

On y trouve dans la partie supérieure des représentants des couches de Birminsdorf avec les *Ammonites subclausus* Opp., *Arolicus* Opp., *plicatilis* Sow.

M. Kaufmann [60] a reconnu que le terrain jurassique inférieur des Mythen est formé de calcaire sableux, gris, rouge et noir dans lequel on trouve très peu de fossiles; quelques bancs sont remplis de fragments de bélemnites; les échantillons déterminables indiquent qu'il appartient au jura brun moyen. Ce sont :

| | |
|---|---|
| Serpula convoluta, Schl. | Terebratula sphæroidalis, Sow. |
| Belemnites, sp. | Rhynchonella quadriplicata, Sow. |
| Pecten vagans, Sow. | Apiocrinus cf. Parkinsoni. |
| Bouchardi, Opp.? | Anabatia orbulites, d'Orb. |
| Lima pectiniformis, Schl. | Cryptocœnia bacciformis, d'Orb. |

*Jura.* M. J. Martin [67] a fait l'étude des dépôts calloviens et oxfordiens du versant méditerranéen de la Côte-

d'Or et les a comparés aux dépôts du même âge dans le Jura.

Il y a reconnu les assises suivantes :

1. Zone callovienne à *Amm. athleta*, correspondant aux marnes ferrugineuses du Haut-Jura et du Jura vaudois.

OXFORDIEN. 2. Zone à *Amm. cordatus*, ferrugineuse, dans la Côte-d'Or, se retrouvant dans le Jura suisse sous le nom de marnes pyriteuses, caractérisées par les mêmes fossiles, manquant aux environs de St-Claude et ailleurs, où les couches à spongiaires à *Amm. transversarius* et *Terebr. impressa* reposent directement sur le n° 1. Cette zone ne saurait donc être séparée de ces couches avec lesquelles elle est souvent synchronique et compte beaucoup d'espèces communes.

3. Zone des marnes et calcaires hydrauliques à *Pholad. parcicosta*, et calcaires à spongiaires à *Amm. plicatilis*, *canaliculatus*, etc., correspondant à peu près aux couches de Birminsdorf.

4. Zone des calcaires pseudo-lithographiques à *Pholadomya lineata*, correspondant à peu près aux couches d'Effingen.

5. Zone des marnes et calcaires marneux supérieurs à *Pholadomya cor* et *Ostrea caprina*, contenant aussi *Pholad. pelagica*, *Pholad. parcicosta* et terminant la série oxfordienne. Elle correspond au Pholadomyen et elle est recouverte par le corallien inférieur à *Hemicidaris crenularis* et *Cidaris florigemma*.

Les zones à *Amm. bimammatus* et à *Amm. tenuilobatus* ne rentrent pas dans la série oxfordienne.

*Terrain jurassique supérieur.* M. P. CHOFFAT [15] a résumé ses observations sur les faciès des dépôts jurassiques supérieurs dans la chaîne du Jura ; ceux dont il a déjà pu préciser les limites sont les bancs de coraux et les bancs de spongiaires. Les premiers se sont développés à diverses époques dans la mer jurassienne. Ceux de la période corallienne proprement dite (Rauracien) entouraient le pied du massif vosgien, couvrant une partie des cantons de Bâle et de Soleure, du Jura bernois, du département du Doubs, de la Haute-Saône et du nord du dé-

partement du Jura jusqu'à Châtelneuf, près de Champagnole. Ceux de la période kimméridienne (Valfin, Oyonnax) ne se trouvent qu'au S.E. de la chaîne et leur limite N.O. est représentée par une ligne qui s'étend d'Orbe à Bourg en Bresse. Ceux de l'époque portlandienne sont principalement développés au Salève, ils entament à peine le Jura, leur limite étant à l'É. du Mont-du-Chat.

Les bancs de spongiaires qui se formaient à une profondeur beaucoup plus considérable, sont des plus anciens aux plus récents : 1° couches de Birminsdorf; 2° couches à *Hemicidaris crenularis* (glypticien); 3° couches de Baden (astartien). Leurs limites, comme celles des bancs de coraux, s'écartent du pied des Vosges, à mesure qu'on s'élève dans la série stratigraphique, ce qui indique que le fond de la mer s'exhaussait lentement vers le N.O. ; car ces formations reculaient pour se maintenir à une profondeur constante au-dessous du niveau de la mer. A l'époque purbeckienne, le Jura était presque à fleur d'eau, les Alpes au contraire n'ont pas été émergées; la transition entre les deux régions se voit au Salève.

Les cailloux noirs du Purbeck qu'on avait crus de provenance alpine et qui ont fait croire à une émersion des Alpes à cette époque, sont un dépôt sédimentaire de cet étage et non pas un dépôt de charriage. M. Choffat a trouvé ces calcaires en bancs réguliers et contenant des fossiles d'eau douce entre Delémont et Moutiers.

Ces curieuses observations ont été développées par le même auteur [16] comme démonstration de l'influence des résultats paléontologiques sur la géologie en général.

J'ai déjà signalé les recherches de M. Choffat [17] sur la zone à *Amm. tenuilobatus* dans le Jura occidental (Rev.

pour 1876, 148) et le mélange des fossiles du faciès a scyphies et du faciès astartien de cette zone, constaté dans cette région. Un des gisements les plus intéressants sous ce rapport est celui des Sèches des Amburnets ; au lieu d'être séparé du portlandien par les couches coralligènes de Valfin, cette zone en est séparée dans cette localité par des couches kimméridiennes, très pauvres en fossiles, rappelant certains faciès du ptérocérien, de sorte qu'on ne peut pas admettre que sur ce point les fossiles des deux faciès proviennent de deux couches différentes.

Les recherches poursuivies par M. TOMBECK [103] dans la Haute-Marne l'amènent au contraire à la conclusion que la zone à *Amm. tenuilobatus* est étroitement liée avec la zone à *Amm. bimammatus* et que cette zone appartient au terrain corallien, se trouvant ainsi à un niveau de beaucoup inférieur à celui du calcaire à astartes.

*Alpes.* J'ai décrit [33] la faune des couches à *Ammonites acanthicus* des Alpes de la Suisse et de la Savoie. J'y ai reconnu 87 espèces dont la grande majorité appartient au genre *Ammonites.* Je citerai dans le nombre :

Belemnites semisulcatus, Munst.
astartinus, Et.
Ammonites isotypus, Ben.
Saxonicus, Neum.
polyolcus, Ben.
Silesiacus, Opp.
ptychoicus, Qu.
Orsinii, Gemm.
Fialar, Opp.
tenuilobatus, Opp.
Frotho, Opp.
platynotus, Rein.
Eudoxus, d'Orb.
Ammonites Doublieri, d'Orb.
Herbichi, Hau.
Caletanus, Opp.
longispinus, Sow.
acanthicus, Opp.
microplus, Opp.
liparus, Opp.
Altenensis, d'Orb.
Aptychus punctatus, Voltz.
Terebratula janitor, Pict.
Holectypus corallinus, d'Orb.
Collyrites carinata, Leske sp.
Metaporhinus convexus, Cat.

Les gisements dans lesquels cette faune a été recueillie

sont : en Savoie, Lémenc, Talloires, le Réret, les Voirons; entre les lacs de Genève et de Thoune, les Pléiades, la vallée de l'Hongrin, les environs de Châtel-St-Denis, Botterens et la vallée du Motélon ; plusieurs localités des Alpes bernoises et le curieux gisement des blocs exotiques des environs d'Yberg (Schwytz). J'y ai joint la faune du massif du Glærnisch signalée par M. Mœsch.

Cette faune a une grande analogie avec celle des Alpes orientales; elle a 69 espèces communes avec d'autres gisements alpins, et 51 avec les dépôts à faciès jurassien.

Elle est formée en grande majorité d'espèces appartenant aux couches à *Amm. tenuilobatus*, et l'on y trouve aussi beaucoup de types appartenant à celles à *Amm. Eudoxus* et *pseudomutabilis*. Le mélange de ces deux faunes est complet. Cette zone est donc l'équivalent de ces deux horizons dans le Jura ; elle est l'équivalent dans les Alpes orientales des zones à *Amm. isotypus* et à *Amm. Beckeri* qui sont toutes deux caractérisées par l'*Amm. acanthicus*. Cette association d'espèces, jointe à la présence dans ces assises de plusieurs types des dépôts kimméridiens du bassin anglo-parisien, obligent à classer dans ce dernier terrain la zone à *Amm. tenuilobatus*. Les couches à *Amm. acanthicus* ont d'ailleurs beaucoup plus d'espèces communes et d'affinités paléontologiques avec les couches tithoniques qui les recouvrent qu'avec les assises sur lesquelles elles reposent et que leur faune place dans le terrain oxfordien (Rev. pour 1876, 144).

La comparaison des terrains alpins avec ceux du Jura, spécialement de l'Argovie et du département de l'Ain, prouve clairement qu'il n'y a eu aucune lacune générale dans les Alpes entre les terrains oxfordien et néocomien, mais que la série des dépôts a été continue ; le

parallélisme peut s'établir d'une manière précise pour une bonne partie d'entre eux.

M. Coquand [20] a recherché quel est dans les divers gisements de l'Europe occidentale et de l'Afrique, l'âge de la *Terebratula janitor*. Il conclut que cette espèce appartient à la zone à *Amm. tenuilobatus* et que cette zone fait partie du terrain oxfordien ou du corallien inférieur *. Il donne la coupe des terrains jurassiques supérieurs des environs de Besançon, qu'il est intéressant de mettre en regard des coupes prises par M. Choffat dans le département de l'Ain ; l'astartien y occupe précisément, entre le ptérocérien et le corallien, la place que le faciès de mélange de la zone à *Amm. tenuilobatus* et de l'astartien occupe, près de St-Claude, entre le ptérocérien et les couches de Valfin d'un côté et le corallien proprement dit de l'autre. M. Coquand, donne cependant à cette coupe une signification très différente, en regardant le corallien inférieur à l'astartien comme l'équivalent des couches de Valfin.

Après avoir établi une comparaison entre les divers gisements de la *Terebratula janitor* et les faunes qui accompagnent ce fossile, l'auteur conclut que cette espèce est jurassique, d'époque oxfordienne ou argovienne. Il constate qu'aux Voirons, à Lémenc, à Grenoble, en Sicile et en Algérie, ces faunes n'ont aucun rapport avec le terrain crétacé ; qu'elles sont recouvertes presque partout par des calcaires à *Cidaris glandifera* qui sont d'après lui d'époque astartienne et que la *T. janitor* appartient à la zone à *Amm. tenuilobatus*.

* M. Coquand commet une erreur quand il cite la *Terebratula janitor* à Lémenc dans la zone à *Amm. tenuilobatus*. Cette espèce n'a été trouvée que dans les assises plus élevées qui sont coralligènes et caractérisées par le *Cidaris glandifera*.

Il me paraît démontré que ce fossile ne caractérise pas un niveau constant, mais qu'ayant apparu dans les couches kimméridiennes à *Amm. acanthicus,* il se retrouve dans les horizons supérieurs du terrain jurassique et qu'il passe au terrain crétacé, puisque M. Hébert l'a cité dans le terrain néocomien du midi de la France et qu'il se trouve en Crimée * dans ce dernier terrain.

La découverte de la *Terebratula diphya* à Haselberg dans les Alpes bavaroises et celle de la *Ter. janitor* au Wendelstein permet de classer d'une manière certaine dans les couches tithoniques les schistes à *Aptychus* dont M. Gumbel [46] a reconnu la grande extension dans les montagnes de cette région.

On sait combien les calcaires à *Aptychus* sont une formation répandue dans les Alpes, spécialement dans les terrains jurassiques supérieurs. On expliquait l'abondance de ces organismes dans ces roches et la rareté des coquilles d'ammonites auxquels ils avaient appartenu par l'hypothèse qu'après la mort des animaux les aptychus tombaient au fond de la mer en même temps que le corps de l'animal se décomposait, tandis que les coquilles plus légères étaient jetées à la côte. M. Th. Fuchs [39] suppose au contraire que les coquilles des ammonites formées d'arragonite et de nacre étaient décomposées par des agents chimiques, tandis que les aptychus formés de spath calcaire résistaient à cette action. L'auteur cite divers exemples pour démontrer la réalité de ces phénomènes chimiques sous-marins.

Le terrain jurassique supérieur est très puissant dans les Alpes bernoises, mais M. Moesch [72] n'a pas pu y in-

* E. Favre, *Étude stratigraphique de la partie sud-ouest de la Crimée*, 1877.

troduire de subdivisions paléontologiques. Sur les couches de Birminsdorf se trouve une grande épaisseur de calcaires foncés, remplis de géodes de quartz, qui sont probablement l'équivalent du terrain à chailles. Le terrain tithonique est très développé. Au Staubbach on observe les couches de Rogoznik à *Diceras Lucii* qui renferment, comme à Wimmis et dans la Suisse orientale *, une faune coralligène ; elles réapparaissent dans le Trümlethenthal et au pied du Mönch en face de la Wengernalp. La *Terebratula diphya* se trouve à Alpiglen. Le même horizon se reconnaît dans beaucoup d'autres localités ; on doit y ranger le marbre de Grindelwald ; toute la rive droite du lac de Brienz fait partie des dépôts de cette époque.

Le calcaire jurassique supérieur des Mythen ressemble, d'après M. Kaufmann [60], soit au calcaire de Seewen avec lequel il a été confondu à tort, soit au calcaire de Châtel. Il renferme très peu de fossiles : *Ammonites polyplocus* Rein (?), bélemnites, nérinées, huîtres, *Lithodendron* et crinoïdes. Il ressemble aussi beaucoup au calcaire de Troos qui est le représentant des couches de Stramberg dans la Suisse orientale. Des couches supérieures à celles-ci, qui sont soit rouges, soit blanches ou verdâtres, ont de grands rapports avec le calcaire de Seewen et contiennent des restes d'inocérames. Elles forment le sommet du Grand Mythen. On y a trouvé quelques ammonites, une dent de *Sphenodus* ; elles appartiennent aussi aux couches tithoniques.

M. Koch [62] a fait des observations sur la constitution du plateau de la Sulzfluh, situé au nord du Prättigau dans les Grisons. Il conclut des recherches d'Escher, de

* M. Mœsch leur avait donné dans cette région le nom de couches de Stramberg ; il rectifie ici cette confusion.

Théobald, de M. de Richthofen et de M. de Mojsisovics, que le versant nord de ce plateau est formé de terrain néocomien, et sa base probablement de calcaire du Dachstein et de calcaire du Steinsberg (lias). Des fossiles provenant de la surface même du plateau y indiquent la présence des couches tithoniques. On y reconnaît entre autres la *Nerima Staszycii* Zeuschn. sp. d'Inwald.

Terrain crétacé. La flore crétacée de la Suisse est remarquablement pauvre. M. Heer [50] y a signalé 16 espèces de plantes marines (Algues) qui se répartissent en 10 genres dont un seul (*Discophorites*) est spécial au terrain crétacé. Elles appartiennent au terrain néocomien et à la craie. Il a décrit seulement trois plantes terrestres :

| | | |
|---|---|---|
| *Zamites Kaufmanni*, Hr. | Néocomien. | Brandhorn. |
| *Ginkgo Jaccardi*, Hr. | Aptien. | La Presta. |
| *Bambusium neocomiense*, Hr. | Néocomien. | Châtel-St-Denis. |

M. Rupert Jones [58] a fait une révision des foraminifères crétacés de la Suisse, spécialement de ceux qui ont été décrits par M. Heer.

M. Kaufmann [60] a distingué les horizons suivants dans les assises crétacées du Burgenstock :

Couches de Seewen.
Gault.
Aptien.
Urgonien à *Capr. ammonia*, *Rad. neocomiensis*. *Orbitulina lenticularis* dans les couches supérieures.
Néocomien { C. à *Serpula Pilatana*.
C. du Drusberg (*Ostrea Couloni*).
C. de l'Altmann.
Calcaire siliceux. }

Les terrains crétacés du Sihlthal et du Waagthal ont été décrits par le même auteur. Ils se composent de :

5. *Couches de Seewen.* Schistes et calcaires. *Ammonites Renauxianus* d'Orb. *Inoceramus Cuvieri* d'Orb., *Discoidea cylindrica* Lam., *Echinocorys vulgaris* Breyn.
4. *Gault*, très-riche en fossiles; phosphorites.
3. *Aptien. a.* Aptien supérieur, *Terebrirostra Escheri*, *Terebratula Moutoniana.*
   *b.* Couches à Orbitolites. Rhodanien. *Orbitulina lenticularis*, *Heteraster oblongus.*
2. *Urgonien.* Calcaire à *Caprotina ammonia*, *Ptérocera pelagi.*
1. *Néocomien. a.* Banc à Orbitolites.
   *b.* Calcaire et schistes à *Toxaster Brunneri*, *Botriopygus cylindricus*, *Holaster L'Hardyi*, *Pygaulus Desmoulinsi.*

M. DE TRIBOLET [107] énumère les divers gisements du gault dans le Jura suisse (8) et dans le Jura français (22). Le gisement du gault de Renan étudié par divers géologues a fourni une faune assez abondante (80 espèces), formée d'un mélange des diverses zones reconnues ailleurs. Les céphalopodes indiquent clairement le mélange de ces divers horizons :

| | |
|---|---|
| Belemnites minimus, List. | Ammonites Lyelli, Leym. |
| Nautilus Neckerianus, Pict. | mammillatus, Schl. |
| Ammonites Beudanti, d'Orb. | Mayorianus, d'Orb. |
| inflatus, Sow. | Milletianus, d'Orb. |
| latidorsatus, Mich. | Hamites rotundus, d'Orb. |

M. VAN DEN BROECK [110] a comparé le gault de Folkestone à celui de la Perte-du-Rhône ; sur 46 espèces recueillies dans ce dernier gisement, 30 se retrouvent dans le premier.

M. Zittel a découvert dans l'Allgau au Burgbühl plusieurs espèces caractéristiques du terrain sénonien dans un banc de grès vert : *Echinocorys vulgaris, Ventriculites* cf. *Œyninghausi, Terebratulina chrysalis, Oxyrhina Mantelli, Ostrea* cf. *lateralis.* Une roche tout à fait identique se trouve, d'après M. GUMBEL [46], au pied du Grünten sur Burgberg, entre les calcaires de Seewen et le terrain nummulitique, et elle doit être de la même époque;

elle renferme *Ostrea* cf. *Brongniarti* et *Micraster* aff. *cortestudinarium*.

*Passage de la craie à l'éocène.* Escher a le premier signalé, dans le Sihlthal et les montagnes du canton de Saint-Gall, des couches qu'il nomme couches de Wang, et qui forment la transition entre les terrains crétacés et tertiaires. Nous en devons la description à M. Kaufmann [60]. Ce sont des schistes noirs, compactes, d'environ 100$^{m}$ d'épaisseur, qui reposent sur le calcaire de Seewen et sont recouverts par le calcaire nummulitique; ces terrains passent insensiblement les uns aux autres. Les fossiles y sont mal conservés et appartiennent aux genres *Apiocrinus, Inoceramus, Belemnites.* Dans le canton d'Unterwald, où M. Kaufmann a observé les mêmes couches, les nummulites y sont nombreuses (*N. complanata, exponens, Lamarki, planulata ?*) ainsi que les Orbitolites. Là où ces couches intermédiaires manquent, la limite est toujours tranchée entre le crétacé et l'éocène. Elles sont probablement un équivalent du terrain Garumnien Leym.

M. Kaufmann a donné le nom de couches d'Yberg à un terrain qui se voit aux environs de ce village dans le Roggenstock, la Mördergrube, les Schienstöcke. C'est un calcaire souvent blanc, qui a l'aspect soit du flysch, soit celui du calcaire de Seewen, et qui forme un passage insensible entre la craie ou les couches de Wang et l'éocène. On y trouve aussi de la spilite et du gabbro, dont il est difficile de s'expliquer l'origine, et de la cargneule. Ce terrain est dépourvu de fossiles, sauf deux foraminifères : *Lagena sphærica* et *L. ovalis,* qui se trouvent généralement dans le calcaire de Seewen. Il est souvent impossible de le distinguer du flysch éocène et difficile de préciser ses rapports avec les couches de Wang.

Terrains cénozoïques.

Les recherches de M. HEER[59] sur la flore des terrains éocènes de la Suisse l'ont conduit aux résultats suivants : 1 espèce provient du grès nummulitique de la vallée de Habkern, 4 de celui de Niederhorn, et 2 d'Argentine dans les Alpes vaudoises.

Les plantes sont beaucoup plus abondantes dans le flysch (éocène supérieur) que dans le terrain nummulitique. On y compte 39 espèces d'Algues (6 Chlorospermies, 11 Floridées, 22 Mélanospermées) dont plusieurs sont répandues en grande abondance et sur de grands espaces. Elles n'offrent aucune analogie avec les Algues actuelles. Il n'y a aucun doute que le flysch appartienne au terrain tertiaire, contrairement à l'opinion de M. Fischer-Ooster, qui le classait dans le terrain rhétien. Il n'a pas d'espèce commune avec le terrain crétacé, mais plusieurs sont voisines d'espèces liasiques.

Le grès de Taviglianaz, qui est étroitement associé au flysch, renferme à la Dallenfluh 7 espèces, dont 5 sont des plantes tertiaires déjà connues. Ce grès n'appartient donc pas, comme le croyait M. Ooster, au terrain rhétien. Il a 3 espèces communes avec le grès de Ralligen, dont M. Heer a décrit 32 espèces. Le grès du Val d'Illiez a fourni 5 espèces de plantes, dont 4 se retrouvent dans le grès de Ralligen, à Hæring et à Sotzka. Ce terrain doit donc probablement être classé dans le tongrien.

*T. nummulitique, flysch, tongrien.* Le terrain éocène du Burgenstock se compose, d'après M. KAUFMANN[60], des couches à *Nummulites complanata,* surmontées des schistes à Pectinites. La limite en est très-tranchée avec les calcaires de Seewen, tandis que le passage d'un terrain à l'autre est tout à fait insensible quand les couches de Wang se trouvent dans l'intervalle.

D'après les recherches du même auteur, le terrain éocène des environs des Mythen se compose du terrain nummulitique et du flysch. Le premier, formé de calcaire et de grès verdâtre, apparaît par lambeaux isolés près de Schwytz et d'Yberg; il est très-riche en fossiles. On peut reconnaître dans le flysch de cette région les deux subdivisions établies par M. Kaufmann : l'inférieur ou Righien, le supérieur ou Sylvain; mais elles n'y ont pas été étudiées aussi en détail que dans le massif du Righi. Ce terrain est riche en fucoïdes, *Chondrites Targioni* et *intricatus*, et renferme aussi des foraminifères ; on y trouve des blocs exotiques de granit de Habkern et de calcaire jurassique fossilifère*. Une masse de gypse, alternant avec des marnes, est intercalée dans ce flysch.

M. K. Mayer[69] a fait l'étude paléontologique de la faune nummulitique d'Einsiedeln ; il y a reconnu 435 espèces, savoir : 10 Spongiaires, 30 grands foraminifères, dont 22 nummulites, 10 Phythozoaires, 2 Bryozoaires, 42 Échinides, 2 Brachiopodes, 115 Pélécypodes, 198 Gastéropodes, 7 Céphalopodes, 4 Vers, 8 Crustacés et 7 Poissons. Il décrit et figure 75 espèces nouvelles. Ce terrain équivaut exactement à la moitié inférieure de l'étage parisien proprement dit (glauconie grossière, couches à nummulites, bancs durs). La couche à Gastéropodes de Steinbach qui le surmonte correspond aux couches à *Cerithium giganteum*. 148 espèces sont communes aux terrains nummulitiques du midi de l'Europe. Sur les 200 espèces qui se retrouvent dans les environs de Paris et de Londres, 169 existent dans le calcaire grossier inférieur

* Voyez Bachmann, *Ueber exotische Jurablöcke im Flysch des Sihlthals und Toggenburgs*. Vierteljahrsschr., Zurich, VIII, p. 21, — et E. Favre, *Zone à Amm. acanthicus*, 1877.

et moyen, et 57 sont spéciales à ce niveau. J'ai extrait d'un tableau donné par l'auteur les principaux traits de la classification des terrains éocènes, moyen et supérieur ; il y résume la classification de toutes les couches nummulitiques de nos Alpes :

| ALPES SUISSES | | | ÉQUIVALENTS |
|---|---|---|---|
| Tongrien. | | Schistes à poissons de Glaris et du Schächenthal. | Sables de Gaas près Dax. Schist. à Meletta crenata. |
| | | ? | Couches à Melania semi-decussata de Barrême. — Castelgomberto. |
| | | Nummulitique du Titlis et de la Gadmenfluh. | Grès à Natica crassatina de Barrême. — Sangonini. |
| Ligurien. | | Flysch. | Couches de Laverda. |
| Bartonien. | supér. | Marnes à bryozoaires des Ralligstöcke. Grès quartzeux sup. du Pilate. | Marnes à bryozoaires. Barrême, Annot, Vicentin. |
| | inférieur | Couches du Niederhorn et des Ralligstöcke avec Solen obliquus, etc. | Calcaire à nummulites et orbitolites. Serpula spirulæa. Allons, Annot, Priabona, Reit-im-Winkel, Klausenburg. |
| Parisien | supér. | Calcaire nummulitique. Diablerets, Dent du Midi. Cerithium Diaboli. Couches saumâtres d. Ralligstöcke. | Calcaire nummulitique. Faudon. Saint-Bonnet. Branchaï. Allons. — Ronca sup. |
| | inférieur. | Nummulitique d'Einsiedeln. *e.* Pierre à digues (Wuhrstein) de Steinbach. *d.* Banc à gastéropodes de Steinb. et du Köpfenstock. *a-c.* Grès vert nummulitique de la Suisse orientale, Neuhaus, Pilate, Rhigi, Fæhnern, Grünten, Kressenberg. | Ronca inf. S. Giovanni Ilarione. — Nummulitique de Biarritz. |

Je ne puis entrer ici dans le détail des recherches faites par M. Hébert [49] sur les terrains tertiaires du midi et de l'orient de l'Europe. Je me bornerai à résumer ici sa classification qui est importante pour l'étude de nos terrains alpins :

| | VICENTIN | BASSIN DE PARIS |
|---|---|---|
| Miocène inférieur. | Calcaire de Castel-Gomberto à Nat. crassatina.<br>Marnes de Laverda. Tuf de Sangonini et de Salcedo. | Sables d'Étampes.<br>Calcaire de Brie et marnes à Cyrena convexa. |
| Éocène supérieur. | 3. Calcaires à polypiers de Crosara.<br>2. Marne de Brendola et couches de Priabona à Orbitoïdes.<br>1. Couches à Cerith. Diaboli. | Gypse.<br>Calcaires de St-Ouen? |
| Éocène inférieur. | 6. Calcaire de Ronca à Fimbria major.<br>5. Tuf de Ronca à Cer. corvinum.<br>4. Calcaire de S. Giov. Ilarione.<br>3. Calcaire du Mte Postale.<br>2. Couches à Alvéolines et à poissons du Mte Bolca.<br>1. Calcaire à Rhynch. polymorpha du Mte Spilecco. | Sables de Beauchamp.<br>Calcaire grossier sup.<br>Calcaire à Turr. imbricataria.<br>Couches à Numm. lævigata.<br>manque.<br>manque. |

Le flysch des Alpes correspond au calcaire à polypiers de Crosara et non aux marnes de Laverda. Les couches de Priabona et celles à *Cerithium Diaboli* sont l'équivalent de l'éocène supérieur des Alpes. La limite entre les périodes éocène et miocène se trouve entre les calcaires de Crosara et les marnes de Laverda, et coïncide avec un

soulèvement du massif alpin. Cette classification ne concorde donc pas avec celle qui a été donnée par M. Mayer.

M. Nogués [78] a donné la coupe du terrain tongrien des Déserts près de Chambéry ; elle se compose du haut en bas des assises suivantes :

1. Grès sableux avec très petites nummulites (*N. variolaria* ?)
2. Calcaire avec polypiers et *Natica crassatina*.
3. Grès fin ou flysch avec écailles de poissons.
4. Grès plus grossier, micacé, avec débris de coquilles fluvio-marines ou lacustres.

M. Tournouer [104] a donné des indications provisoires sur la faune tongrienne de cette dernière assise qui, par la présence caractéristique des *Turbo*, des *Strombus*, des polypiers massifs et des foraminifères, a un faciès bien distinct de celui du Tongrien du Jura suisse ; elle se relie à celui des Basses-Alpes, de la Ligurie, du Vicentin et de la Garonne.

Le flysch (Macigno, Argille scagliose, Alberese) est une formation puissante, étendue et très-complexe, dont les particularités ont souvent attiré l'attention des géologues, sans pouvoir cependant être toujours expliquées. M. Th. Fuchs [38] a cru trouver une solution à ces difficultés en regardant ce terrain, non comme un dépôt de détritus, mais comme un produit d'actions éruptives analogues aux volcans de boue de l'époque actuelle. Cette idée a déjà été soutenue par plusieurs géologues italiens et par M. Abich.

Le flysch est formé de grès et de marnes d'aspect particulier, schisteux et fragmentaires, dont on ne retrouve l'analogue dans aucune autre formation. Le grès de Ta-

viglianaz, qui accompagne ce terrain en Suisse et qui en est une variété, a l'aspect d'un tuf dioritique*.

On y trouve en Gallicie des dépôts de pétrole, dans l'Apennin de l'hydrogène carboné et des dépôts de gypse.

Ce terrain est souvent en rapport avec des roches éruptives et prend alors l'aspect d'un tuf volcanique; ce sont spécialement les serpentines et les gabbros qui paraissent lui être associés (Italie, Balkan, Eubée, Caucase). La présence de blocs exotiques et de récifs (*Klippe*) en est un des caractères les plus singuliers; les blocs se trouvent généralement dans des marnes tendres; ce sont des granits, des serpentines, des calcaires et des grès. M. Fuchs ne croit pas qu'on puisse leur attribuer une origine erratique, mais pense qu'ils ont été projetés de l'intérieur du globe avec des boues. Ils sont fréquents dans le flysch de la Suisse, de l'Allemagne, de l'Autriche, plus rares dans les régions où le flysch est associé à des roches éruptives. Les *Klippe* des Carpathes ne sont, en partie du moins, aux yeux de M. Fuchs, que des blocs exotiques plus ou moins considérables.

Les fossiles sont aussi de nature très-particulière; on n'y trouve guère que des fucoïdes, c'est-à-dire des organismes très-délicats, tandis que des organismes supérieurs et plus résistants manquent complétement.

Ce fait peut s'expliquer parce que ces animaux auraient fui les exhalations gazeuses et les eaux infectées qui auraient alors occupé cette région. Enfin le flysch, qui est généralement regardé comme une roche détritique, montre cependant dans sa nature une indépendance com-

* « Il me paraît être, dit M. A. Favre, une espèce de cendre volcanique stratifiée par les eaux. » *Recherches géol.*, 1867, p. 506.

plète des sédiments sur lesquels il repose. Il est l'équivalent de terrains très-variés, crétacés, éocènes et oligocènes, développés normalement dans son voisinage immédiat; il a été soumis à des contournements, des plissements, dont on ne retrouve pas de traces dans les roches avoisinantes.

M. DE TRIBOLET [105] a donné quelques nouvelles indications sur des gisements de terrain sidérolithique dans les environs de Neuchâtel; il décrit les affleurements qui ont en général une faible étendue, et donne la description de quelques roches et l'analyse de l'une d'entre elles.

*Mollasse.* Plusieurs ingénieurs et chimistes [88] ont examiné, au point de vue de l'exploitation, les gisements de mollasse bitumineuse qui se trouvent dans le canton de Genève, aux environs de Choully et de Dardagny, dans la vallée de la London, au nant de Roulavaz, au nant Punais, et qui ont été aussi constatés à Boissy et à Bernex. D'après les analyses faites, 100 parties de mollasse renferment 8 $^1/_4$ parties de bitume et d'eau desquelles on extrait une partie de goudron, 3 à 9 d'huile, 1 à 60 d'eau. Suivant M. Gruner, on pourrait compter sur un produit de 5 à 5 $^1/_2$ de bitume pour 100 de matière en poids. Les divers rapports et analyses sont généralement favorables à une exploitation.

La mollasse du Hohe Rohnen, déjà connue par les travaux de M. Heer, et celle du Sattel, de Rothenthurm et d'Einsiedeln, ont été décrites par M. KAUFMANN [60]. Cet auteur a ajouté divers détails aux faits déjà connus, et indique les rapports de ce terrain avec le terrain éocène.

La mollasse comprise dans la feuille IX de la carte fédérale a été décrite par M. GUTZWILLER [47] :

Escher de la Linth et M. Kaufmann ont trouvé au Hämmerlibach, près de Bilten (St-Gall), une faune aqui-

tanienne. Elle est très-semblable à celle des couches de Horw et se compose, d'après M. Gutzwiller, des espèces suivantes :

| | |
|---|---|
| Cardium arcula, May. | Corbula nitida, Sandb. |
| Thunense, May. | sphenoides, Sandb. |
| Heeri, May. | Henkelisini, Nyst. |
| Ostrea, sp. | Restes de poissons. |

La nagelfluh de la Suisse orientale se divise en 4 zones successives, qui sont à partir des Alpes :

1re zone. Stockberg, Speer, Hirzli ; épaisseur 400m. Nagelfluh calcaire ; cailloux ressemblant beaucoup à ceux du Vorarlberg.

2me zone. Kronberg, Hochalp, Masseldrangen, Schænis, Reichenburg, Spitzberg, Pfiffig ; à l'est de la Thur, nagelfluh polygénique, à l'ouest nagelfluh calcaire.

3me zone. Gæbris, Hundwiler-Höhe, Hochham ; nagelfluh polygénique ; les grès intercalés contiennent du charbon et des plantes au Ruppen, etc. Unio flabellatus, Goldf.

4me zone. St-Gall, chaîne du Hœrnli, lac de Zurich ; nagelfluh polygénique.

M. Gutzwiller partage l'opinion d'Escher que cette roche est formée de cailloux roulés par les rivières et provenant de la région des Alpes, située à l'est et au sud-est de la région mollassique. Les mouvements considérables du sol qui eurent lieu dans la période tertiaire peuvent expliquer la variété de constitution des diverses parties de ce dépôt et le fait que plusieurs des terrains dont provenaient les cailloux ont disparu. Ces zones de nagelfluh sont séparées par des grès et des marnes, et l'on trouve dans les unes et les autres quelques bancs de calcaires, lesquels renferment parfois de la houille associée à des schistes noirs.

La disposition des couches a été étudiée avec le plus grand soin. La région de la mollasse qui a été soulevée renferme trois zones anticlinales séparées par deux syn-

clinales ; les premières sont indiquées sur la carte par des traits rouges, les secondes par des traits bleus. Les couches de la mollasse plongent au sud-est contre la chaîne alpine et sont en général en contact avec le flysch. Au nord de ces plis elles s'étendent en couches horizontales. Elles présentent de bas en haut la succession suivante :

1. Marnes marines de Bilten, marnes rouges et grises avec nagelfluh de la zone anticlinale sud et mollasse rouge des Fähnern (formation marine et d'eau douce).
2. Nagelfluh calcaire, subalpine, et mollasse subalpine (form. d'eau douce).
3. Nagelfluh polygénique de la 2me et 3me zone ; mollasse granitique (formation d'eau douce).
4. Mollasse ordinaire et nagelfluh polygénique (form. d'eau douce).
5. Mollasse marine de Bach et de St-Gall, avec bancs d'eau douce intercalés.
6. Mollasse d'eau douce supérieure (nagelfluh griseet marnes du Hörnli.)

M. Miller [71] a fait l'étude des dépôts mollassiques dans la région du lac de Constance. Ces dépôts sont très-variés et leurs rapports stratigraphiques sont souvent compliqués à déterminer. Des géologues ont regardé plusieurs de ces terrains comme des faciès différents el contemporains. M. Miller n'est pas de cet avis. On observe dans cette région plusieurs lignes d'anciens rivages *. Les dépôts littoraux les plus anciens sont les plus élevés. L'auteur a admis cinq phases successives principales qui sont des plus anciennes aux plus récentes :

1. Couches à *Melanopsis citharella* (825-740m). Calcaire coquillier qui se trouve au sommet du Randen, dépôt marin avec deux espèces d'eau douce très-abondantes ** ; terrain très-développé en Argovie.

* Voyez Zittel et Vogelgesang, *Geolog. Beschreib. der Umgegend von Möhringen und Mosskirch*, 1867, p. 41 (Beitr. z. Statistik des Grossherz. Baden).

** Voyez la liste des fossiles dans Mœsch, Aargauer Jura, 1867, 225. Ces couches ont été signalées pour la première fois par M. Merian, *Verhandl.*, Basel, 1848, VIII, 30.

2. Nagelfluh à huîtres (750-600$^m$), très-développée au sud de Berne (Längenberg et Belpberg) et à Soleure, occupe un grand espace. Roche polygénique.
3. Couches à bryozoaires (670-600$^m$). *a*. Calcaire à turritelles au pied du Jura. *b*. Couches sableuses et marneuses à *Pecten substriatus*, *Terebratula grandis*, *Corbula gibba*, appartenant au centre du bassin; sont peut-être contemporains.
4. Grès coquillier (600-430$^m$). Retrait marqué de la mer ; contemporain d'un dépôt d'eau douce dans le Höhgau (*Helicitenmergel* et Graupensand).
5. Couches de St-Gall (640-440$^m$). Par suite du soulèvement continu de la rive nord, elles ne sont visibles que dans la partie sud du bassin. Elles s'étendent de Lucerne à St-Gall et à Kempten, et sont associées à des dépôts saumâtres et marins.

Ce sont les derniers dépôts marins dans ce bassin. M. Miller indique les affleurements de ces diverses zones et la hauteur à laquelle on les observe. Le rivage n'a pas varié le long des Alpes et les dépôts se recouvrent régulièrement; ils ont été soulevés seulement plus tard. Du côté du Jura le soulèvement a été continu, et à la quatrième phase cette chaîne ne formait déjà plus le rivage. Il a été beaucoup plus fort à l'ouest qu'à l'est, ce qui a causé un retrait constant de la mer dans cette direction. Tous ces terrains appartiennent au miocène moyen.

L'auteur étudie ensuite la mollasse marine du pied du Jura, puis celle du pied des Alpes. Nous ne pouvons le suivre dans cette description locale accompagnée de nombreuses coupes. Cet ouvrage se termine par l'étude de la faune de la mollasse marine (mollusques, balanes, échinodermes, vertébrés, bryozoaires, foraminifères). Un grand nombre d'espèces sont figurées.

Les villes du Jura, Bâle, Laufon, Delémont et Porrentruy, sont en grande partie pavées avec des matériaux très différents des roches du Jura, et qui n'ont pas non plus de rapports avec les roches alpines. Ce sont des ro-

ches de couleur rouge, rougeâtre ou gris-noire; on les trouve dans les sables à *Dinotherium* de toute la plaine alsatique, et sous la forme de nagelfluh dans la mollasse marine (étage helvétien) dans le Jura et au pied des Alpes. La mollasse du Righi renferme également un grand nombre de roches exotiques qui ont un caractère tout à fait vosgien (argilolithe, meulières, grès rouge, grauwacke, jaspe, porphyre, granit rouge). Ces roches et d'autres encore se rattachent toutes à des roches vosgiennes, dont M. GREPPIN [42] signale la nature et le lieu d'origine*; 4 appartiennent au groupe euritique, 3 au groupe granitique, 1 au groupe leptinitique, 7 à la grauwacke, 8 au grès vosgien. Les Vosges et la Forêt-Noire existaient déjà à l'époque du transport de ces roches, tandis que les Alpes et le Jura n'avaient point encore de relief fortement accentué. De grands courants parcouraient alors du nord au sud cette partie de la Suisse. Cette époque, qui est celle des sables tertiaires d'Eppelsheim, des galets de la Bresse, des sables à *Dinotherium* de la Bavière (dépôt continental), est, d'après l'auteur, synchronique de la nagelfluh de la mollasse marine (étage helvétien).

T. GLACIAIRE. *T. pliocène et glaciaire du Tessin* (Rev. pour 1876, 153). Plusieurs travaux ont encore paru sur la question de la contemporanéité des dépôts pliocène et glaciaire au pied des Alpes lombardes.

Après avoir visité le gisement de Casa-Rizzardi, M. MARTINS [68] est arrivé à la conclusion que les moraines des environs de Bernate réunissent tous les caractères des moraines sous-marines, telles qu'il s'en forme encore au Spitzberg. Elles se composent de gravier, de cailloux alpins,

* Voyez Greppin, *Mém. de la Soc. helv. des sc. nat.*, 1834, 17, — et *Description géol. du Jura bernois*, 1870, 177.

striés ou roulés, percés par des coquilles perforantes, de blocs erratiques, et contiennent des coquilles marines dont les unes sont intactes, les autres roulées. Comme M. Desor, M. Martins compare le climat du nord de l'Italie à cette époque à celui de la Nouvelle-Zélande.

M. Mercalli [70] estime que les gisements en question fournissent une démonstration évidente de la thèse soutenue par M. Stoppani de la succession immédiate de la période glaciaire à la période pliocène. Il décrit successivement sept gisements fossilifères; ce sont, dit-il, sept points différents d'un même dépôt littoral marino-glaciaire. On peut regarder comme constaté que ce dépôt s'étend de Fino, sous les moraines terrestres de Firenzuola, Cassina-Rizzardi, Monticello et Caccivio, ou, en d'autres termes, que le terrain glaciaire est constitué par 1° un dépôt inférieur marino-glaciaire, 2° un dépôt terrestre supérieur. La mer, qui a formé le premier dépôt, recouvrait toute la Lombardie, et il faut probablement rapporter à cette époque une argile trouvée à Groana, à 17 kilomètres au sud de Cassina-Rizzardi et dans laquelle l'auteur a trouvé *Perna Soldanii* et *Ostrea lamellosa.*

Après avoir résumé ses observations sur les diverses localités où l'on a signalé la présence des fossiles pliocènes dans les terrains glaciaires, M. Omboni [79] réfute le mémoire de M. Stoppani et conclut qu'il n'a vu aucun fait certain qui prouve que les glaciers aient atteint la plaine italienne à l'époque pliocène et aient abandonné leurs cailloux striés dans une mer où vivaient les coquilles du pliocène proprement dit. Il admet que la succession des phénomènes pendant les époques pliocène et glaciaire de Lombardie a été la suivante * :

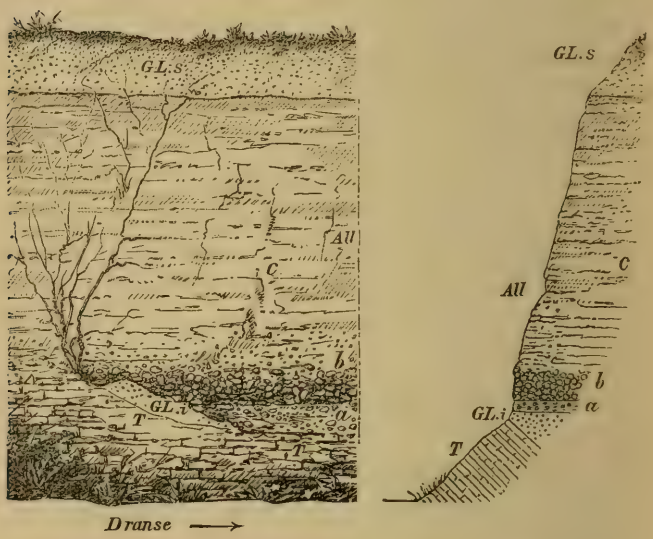
* L'auteur a déjà exposé cette même théorie en 1861. *I ghiacciaj antichi e il terreno erratico di Lombardia.* Atti Soc. ital. di sc. nat., VIII.

1. Envahissement des vallées alpines par la mer pliocène et dépôt de sédiments avec fossiles pliocènes des Alpes aux Apennins.
2. Mouvement d'exhaussement de la région alpine (fin de l'époque pliocène) ; les sédiments pliocènes sont enlevés et la mer n'occupe plus que des fiords.
3. Formation des glaciers ; commencement de l'époque glaciaire.
4. Accroissement rapide des glaciers qui s'avancent jusqu'à la mer.
5. État stationnaire des glaciers qui déversent leurs matériaux dans la mer et forment une alluvion ancienne (*ceppo* de l'Adda, etc.).
6. Les glaciers avancent sur l'alluvion et forment les moraines.
7. Diminution des glaciers, formation de moraines frontales plus récentes et plus près des Alpes sur l'alluvion ancienne.
8. Fusion des glaciers qui reprennent leurs limites actuelles ; formation de torrents qui détruisent les moraines et produisent des alluvions à matériaux morainiques avec fossiles pliocènes.

M. Sordelli [97], qui a déjà publié plusieurs mémoires sur cette question, en réponse à ceux de M. Stoppani et de M. Desor, en a fait paraître dans les *Archives* un nouveau dont nous n'avons pas à rendre compte. Il y réfute les opinions émises par ces deux éminents géologues, en se basant, soit sur des faits géologiques, soit sur les plantes découvertes dans les gisements de Pontegana.

*Læss.* M. Belt [7] cherche à démontrer qu'au moment culminant de la période glaciaire, la glace occupait principalement les dépressions de l'océan et empêchait l'écoulement des eaux. Cette théorie est basée sur la disposition du lœss dans les différents bassins ; il donne des coupes des vallées du Rhin et du Danube et décrit la distribution du lœss dans ces deux vallées et celles de leurs affluents ; il montre que cette formation recouvre la plus grande partie de la Belgique, du Hainault, du Brabant, de l'Angleterre, qu'elle est l'équivalent du drift du nord et du centre de l'Europe. Sa faune prouve qu'elle date de la période glaciaire. Il conclut de la généralité de ce dépôt et de la hauteur à laquelle on l'observe que sa formation est due à la cause énoncée ci-dessus.

*Deux époques glaciaires.* On sait qu'un des principaux arguments en faveur de l'existence de deux époques glaciaires est tiré d'une observation faite par Morlot dans la vallée de la Dranse*. J'ai visité[34] le gisement avec M. A. Favre et M. S. Chavannes. Il se trouve sur la rive gauche de la rivière, à $1^1/_2$ kilomètre environ en amont d'Armoy, au sortir d'une gorge et en un point où apparaît le terrain triasique. Il présente la coupe suivante :




*GL. s.* Argile glaciaire supérieure recouvrant la surface du pays.

*All.* Alluvion ancienne, puissant de 50m environ, à la base de laquelle on observe un poudingue à gros éléments (*b*) et un poudingue à éléments beaucoup plus fins (*a*).

*GL. i.* Lambeau d'argile glaciaire à cailloux striés, de 10-15m de longueur et 2-3m d'épaisseur, reposant sur

*T.* Dolomie triasique. 10m.

* Bull. Soc. vaud., 1854, IV, 39, 40, 53; — Archives, 1858, III, 127; — Bull. Soc. vaud., 1858, VI, 3, et spécialement VI, 102.

Dans presque toute la partie inférieure de la vallée de la Dranse, cette rivière est profondément encaissée entre deux escarpements d'alluvion ancienne dont l'épaisseur varie de 30 à 60m*. Ce conglomérat, formé de cailloux alpins généralement arrondis et de grosseur variée, est si compacte que les cailloux se brisent plus facilement que le ciment qui les unit. Il repose presque partout sur des roches anciennes, flysch, lias, trias. Le contact se voit particulièrement bien près du pont de la Combe d'Enfer. Ce n'est qu'en un seul point qu'on trouve, sous la grande nappe d'alluvion ancienne, le lambeau de terrain glaciaire bien caractérisé dont j'ai indiqué les faibles dimensions. Est-ce le reste d'un dépôt glaciaire étendu qui aurait été dénudé et dont il n'aurait subsisté que ce fragment? La coupe, qui est très nette, autorise bien à croire qu'il est en place; mais on voit sur de si grandes étendues, soit dans cette vallée, soit dans d'autres régions, la base de l'alluvion ancienne sans y avoir jamais constaté un fait de cette nature, que l'on se demande s'il n'est pas accidentel et si cette coupe qui paraît normale ne pourrait pas être expliquée par un phénomène de glissement ou autre, particulier à cette localité**. Si la réponse est négative, nous aurions ici un fait semblable à celui de Durnten et qui indiquerait une oscillation du glacier quaternaire bien plus considérable que celles qui ont été observées au Bois de la Bâtie ou à Mategnin***.

*Alluvion ancienne.* M. Ébray [27] a donné une coupe du Bois de la Bâtie qui présente plusieurs différences avec celles qui avaient été données précédemment par MM. Fa-

* Voyez A. Favre, *Recherches géol.* Atlas, pl. 5, f. 4.
** Voyez Id. 1867, I, 78.
*** Voyez E. Favre, *Archives*, 1877, LVIII, pl. 2.

vre et Lory. D'après cet auteur, les conglomérats de l'alluvion reposent directement sur la mollasse sans dépôt intermédiaire de couche de glaise. La glaise qui s'observe au pied de la colline serait la continuation de la nappe d'argile, qui a recouvert d'une couche continue la surface irrégulière du conglomérat; ayant été rongée par les eaux, ainsi que ce dernier, elle a été séparée de la nappe qui couronne les collines et elle paraît passer sous lui tandis qu'elle est en réalité plus récente.

La nappe d'argile glaciaire intercalée dans l'alluvion ancienne est regardée par M. Ébray comme un dépôt boueux du même torrent qui déposait celle-ci. La nappe superficielle d'argile à cailloux striés serait le produit d'un courant boueux.

Le même auteur a combattu l'idée que j'ai développée récemment sur l'origine de l'alluvion ancienne. Je n'admets pas, comme il me le fait dire, que la formation des conglomérats a précédé la période glaciaire, mais que leur dépôt se faisait en aval des glaciers au fur et à mesure de leur extension; je n'ai donc point conçu « l'espérance d'expliquer des effets antérieurs par des causes postérieures. »

M. Ébray ne pense pas qu'il ait été nécessaire que le lac de Genève fût comblé par la glace ou d'une autre manière pour que l'alluvion ancienne se déposât au delà. Les courants diluviens venant du Valais se seraient, d'après lui, soit engouffrés dans le bassin qu'ils auraient en partie comblés, soit déversés plus au nord, d'où, rejetés par le Jura ils seraient venus former leurs dépôts en aval du lac, hypothèse assez difficile à concilier avec la la structure du pays et le profond encaissement des rives du lac entre Meillerie et Clarens.

*Anciens glaciers de la Suisse.* M. A. FAVRE [31] a publié un mémoire sur les anciens glaciers du revers septentrional des Alpes suisses (Rev. pour 1876, 158); il a aussi fait un rapport [50] sur les températures des années qui ont précédé l'extension des glaciers en 1817 et 1818 (Rev. pour 1876, 176).

M. GUTZWILLER [47] a décrit les terrains glaciaires compris sur la feuille IX de la carte fédérale.

L'ancien glacier du Sentis et des Churfirsten était limité à l'est par le bassin de la Sitter et à l'ouest par la chaîne Speer-Hörnli. On y reconnaît du diluvium glaciaire, le terrain erratique et l'alluvion post-glaciaire ; la limite du glacier était au Kronberg de 1200 à 1300$^{m}$, près du Hörnli à 1000$^{m}$, aux environs de Kirchberg et Hérisau, où il se terminait, à 900$^{m}$. Il n'y a aucune trace de deux époques glaciaires. Les dépôts dus au glacier du Rhin et à celui de la Linth occupent également sur cette carte une étendue considérable.

D'après M. Gutzwiller, on trouve dans beaucoup de localités du canton de Zurich, à Wangen, Uster, Ottikon, etc., une nagelfluh qui est bien distincte de la nagelfluh tertiaire et identique au conglomérat de l'Utliberg, à celui de Wädenswyl et de la presqu'île d'Au; elle n'est pas tertiaire, comme l'a dit M. Mayer (Rev. pour 1875, 375), mais bien quaternaire. Elle recouvre le lignite d'Utznach et d'Eschenbach et elle est surmontée par le terrain glaciaire; elle est donc interglaciaire dans ces localités. M. Gutzwiller donne, d'après les notes d'Escher, des coupes très-détaillées des lignites interglaciaires d'Utznach, Wangen, Eschenbach, Dürnten et Wetzikon.

M. MŒSCH [72] a observé un grand nombre de blocs gra-

nitiques à 1330$^{m}$ de hauteur, à la Vorder-Alp sur la rive gauche du Wendelbach, dans les Alpes Bernoises. Il en a reconnu d'autres entre 1210 et 1250$^{m}$ au Lauï-Vorsäss.

Les travaux entrepris à Berne au Grand-Bastion (Grosse Schanze) ont mis à découvert, presque au niveau du sol, un affleurement de mollasse dont on ne soupçonnait pas l'existence; cet affleurement étant si étroit que, dans un voisinage immédiat, des fouilles profondes n'avaient fait reconnaître que du terrain glaciaire. La surface de cette mollasse est très-fissurée et désagrégée, ce qui provient, d'après M. Bachmann[1], de la congélation du sol au moment de l'invasion des glaciers. Le même auteur a décrit les rapports de l'alluvion glaciaire et de la mollasse dans le voisinage du Petit-Bastion. Le premier de ces terrains, reposant dans les dépressions du second, a été évidemment formé au bord même du glacier et sous l'influence directe de sa fusion, ainsi que le prouvent les blocs mêlés au sable en cet endroit. On a trouvé sur le prolongement de ce terrain dans Berne une dent d'*Elephas primigenius.*

Dans le voisinage du cimetière près du Schwellemätteli, on trouve un terrain d'une apparence singulière qui paraît glaciaire mais qui est stratifié et ne contient aucun caillou strié; il appartient à une moraine latérale, remaniée pendant que le glacier était encore là et limitait le bassin dans lequel se faisait ce dépôt. Ces terrains appartiennent au glacier de l'Aar.

Un bloc erratique d'un pied cube a été trouvé près des Sturleren dans le voisinage de Berne. Il contient de la malachite, de la pyrite de cuivre, du mispiquel et de la pyrite magnétique; il provient donc du Val d'Anniviers, où est le seul gisement de cette roche dans le bassin du Rhône.

M. BACHMANN [2] énumère les blocs employés à Berne pour élever un monument erratique avec les matériaux retirés de l'ancienne moraine du glacier de l'Aar. Il indique leur origine. Il signale aussi les blocs erratiques ou exotiques appartenant au musée d'histoire naturelle de Berne.

Le même auteur [3] a décrit en détail les marmites de géants du Längenberg et le terrain erratique de cette contrée (Rev. pour 1875, 384).

M. RENEVIER [87] a décrit la célèbre moraine de Monthey, formée en majeure partie de blocs de protogine du massif du Mont-Blanc, et en particulier les deux blocs de Pierre à Dzo et de Pierre à Muguet, qui, donnés à de Charpentier par le gouvernement du Valais en 1853, ont été cédés à la Société vaudoise des sciences naturelles par la fille du célèbre naturaliste.

La construction de la ligne du chemin de fer d'Annecy à Thonon amène la destruction très rapide de tous les blocs erratiques situés dans cette région ; pour en conserver un des plus beaux, celui d'Aisery, M. DE MARIGNAC [66] en a fait don à l'Académie des sciences.

M. VÉZIAN [111] a exposé le développement des anciens glaciers dans le Jura et la lutte qui s'est établie entre les glaciers locaux et celui du Rhône. Sur le versant occidental, les débris alpins ont pénétré par quatre points : 1° le col de Jougne et de Pontarlier, 2° le col des Rousses, 3° l'extrémité sud du Grand-Colombier, 4° les environs de Belley. Le glacier de la Valserine leur a barré le passage du col (600$^{m}$) entre Châtillon de Michaille et Nantua. L'auteur signale l'extension des débris erratiques à l'ouest de la chaîne. Cette ancienne extension a été précédée et suivie d'un dépôt de diluvium. Le diluvium préglaciaire

n'est mélangé d'aucun débris provenant des Alpes; c'est à cette époque qu'appartient aussi le conglomérat bressan dont les éléments constitutifs, provenant des Alpes, ont été charriés par le Rhône et par l'Isère; le diluvium post-glaciaire renferme des matériaux alpins.

M. Benoit [8], auquel nous devons déjà d'intéressantes recherches sur les anciens glaciers du Jura *, a étendu ses observations et a donné une carte de l'ensemble du phénomène glaciaire aux environs de Pontarlier. Les glaciers des Alpes et ceux du Jura ont réuni leur action pour y former de nombreuses moraines et transporter des blocs erratiques jusqu'à Ornans, dans le vallon de la Loue et sur les plateaux environnants. Une des moraines les plus importantes est celle sur laquelle est construite la ville même de Pontarlier et qui se prolonge à l'ouest par le Mont; une série de moraines s'étendent au delà dans cette même direction; la surface du glacier avait une altitude d'environ 1050$^{m}$; l'épaisseur était de 200$^{m}$; le glacier a envahi cette région, soit par le col de Jougne (1050$^{m}$), soit et surtout par celui des Étroits, près de Sainte-Croix (1200$^{m}$), ouvert plus directement à l'effort du glacier alpin. La moraine de Sainte-Croix et de Bullet est la plus belle des moraines alpines déposées sur les flancs du Jura. Les glaciers jurassiens fonctionnaient déjà avant l'arrivée du glacier alpin, car le terrain erratique qui recouvre directement la roche en place est uniquement calcaire.

Suivant cet auteur, les moraines se sont formées pendant l'invasion des glaciers; les glaciers du Jura ont d'abord fonctionné isolément; puis ils ont relayé le trans-

* Actes Soc. helvét. Porrentruy, 1853. — Bull. Soc. géol., 2$^{me}$ s., XX, 351.

port des blocs apportés par ceux des Alpes; la surface seule de la glace était mobile; elle se moulait sur les reliefs, laissant dans leurs intervalles de grands culots de glace inerte. Une action torrentielle violente a accompagné la fonte des glaces. M. Benoit rappelle en terminant les observations de Deluc en 1782 sur la présence de roches alpines sur le revers occidental du Jura.

*Forêt-Noire. Bavière.* M. PLATZ [83] a découvert dans plusieurs vallées de la Forêt-Noire les traces d'anciens glaciers *. Il signale des moraines latérales près du village de Bærenthal, sur la route du Feldberg et dans quelques autres localités. Une moraine terminale très nette se voit à Lenzkirch près d'Ursee; deux autres se trouvent dans la vallée de Menzenschwand; les eaux du Titisee et du Schluchsee sont retenues par d'anciennes moraines. Les observations ne sont pas encore assez nombreuses pour préciser les limites des anciens glaciers dans ces montagnes; mais leur ancienne extension ne peut être mise en doute.

M. GUMBEL [46] a ajouté de nouvelles observations à toutes celles qui ont été faites dans ces dernières années sur les anciens glaciers de la Bavière. Le terrain glaciaire repose souvent sur la nagelfluh tertiaire dont la surface a été polie et striée et dans laquelle on trouve beaucoup de cailloux impressionnés.

*Versant sud des Alpes.* Le Vintschgau et la Valteline ont été entièrement occupés par les anciens glaciers qui y ont laissé de nombreuses traces de leur passage. M. STACHE [99] a reconnu, dans presque toutes les vallées de cette région, des roches moutonnées, des moraines,

* Voyez sur ce sujet les recherches de M. Gilliéron et de M. Fraas *Revue* pour 1875, 385.

ainsi que beaucoup de matériaux erratiques. Les roches moutonnées sont surtout remarquables dans le haut de la vallée de l'Adda.

M. Baretti [6] a dressé une carte des anciens glaciers du massif du Grand-Paradis. Les moraines et autres dépôts glaciaires, la hauteur des anciens glaciers et les limites des glaciers actuels y sont soigneusement indiqués. L'auteur décrit successivement l'ancien glacier de la vallée d'Aoste et ses tributaires, celui du val Chiusella et celui du val d'Orco.

*Glaciers actuels.* M. Ph. Privat [84] a résumé les principaux phénomènes relatifs aux glaciers.

M. Tissot [102] a fait des rapprochements intéressants entre les oscillations des glaciers, les variations dans la température et la chute des neiges. Les observations faites sur le climat d'Annecy à partir de 1773, peuvent servir utilement pour des recherches de ce genre.

M. Hagenbach [48] a rendu compte des remarquables travaux exécutés par M. Gosset pour l'étude physique et topographique du glacier du Rhône; les *Archives* ont déjà indiqué les résultats obtenus par cet habile ingénieur pour la rapidité de la marche et l'ablation du glacier (1876, LVII, 26).

Le glacier de l'Aar qui, en juillet 1870, était encore en progression, d'après M. Forel [36], s'est retiré, de cette époque jusqu'en 1875, de 25 à 80$^{m}$ suivant les places. Des traînées parallèles de sable qui ont été laissées à découvert sont une preuve nouvelle que le glacier n'affouille pas son lit et que sa partie inférieure avance aussi. Les glaciers accessoires de la vallée de l'Aar avaient peu d'épaisseur à l'époque glaciaire tandis que celle du glacier principal était très considérable.

*Érosion glaciaire.* M. GRAD [41] a combattu la théorie du creusement des vallées par les glaciers. « Au lieu de creuser les flancs des montagnes, les glaciers exercent sur celles-ci une action préservatrice, en les protégeant contre l'action de l'atmosphère et des eaux. » Quand un glacier passe sur un fond accidenté, les parties du roc en saillie en supportent seuls la pression, qui est beaucoup plus faible ou nulle dans les creux ; à la longue, la glace finit par user et polir les roches moutonnées ; mais les glaciers actuels ne fournissent aucun exemple de creusement des vallées ; on ne peut donc attribuer ce phénomène aux glaciers anciens.

*Phénomènes récents.* MM. DE TRIBOLET et ROCHAT [109] ont fait l'étude des *bonds* des environs de Bière (Vaud). On donne ce nom à des enfoncements de grandeur et de profondeurs différentes, à parois plus ou moins verticales et creusés dans la plaine quaternaire de Bière. Ils sont soit à sec, soit remplis d'une eau trouble et vaseuse ou d'une eau plus ou moins claire. A certaines époques, surtout au printemps et en automne, ils entrent en activité et vomissent autour d'eux une eau vaseuse. L'eau s'échappe souvent aussi par des fissures avoisinantes. La boue qui se dépose autour des orifices est épaisse et élastique. Ces *bonds* se reforment toujours aux mêmes places quand on les a remplis de pierres ; leur diamètre varie de 1 à 60$^{m}$ ; leur profondeur est inconnue ; on en connaît 24 dont la plus grande partie déposent un limon gris bleuâtre, contenant du protoxyde de fer, du carbonate de chaux et d'alumine, d'autres un limon sableux jaune contenant de l'oxyde de fer. Ces limons proviennent du terrain quaternaire qui constitue le sol de la plaine.

L'eau qui alimente ces bonds est due aux chutes de pluie et de neige sur la plaine de Bière. Elle est probablement retenue dans le sous-sol par une particularité de la stratification, telle qu'une disposition en forme de cuvette. Il doit y avoir des réservoirs séparés pour plusieurs d'entre eux ; car les eaux s'y maintiennent à des niveaux très différents les uns des autres. Elles s'échappent quand les réservoirs sont trop pleins et elles entraînent avec elles le limon qu'elles ont délayé en pénétrant dans le sol et en sortant. C'est probablement l'argile glaciaire compacte qui forme la nappe imperméable inférieure.

Un grand éboulement a eu lieu dans la Haute-Tarentaise au nord du hameau du Miroir (commune de S^te^-Foy) dans la montagne de la Moluire. Le phénomène observé par M. Empereur [20], a commencé par un bruit formidable suivi d'un grand éboulement qui s'est continué longtemps sans interruption. La montagne haute de 2500^m^ s'est abaissée de 500^m^ en 30 jours.

Il existe dans le Jura huit glacières naturelles*, grottes communiquant avec la surface par des caves ou puits naturels, ce sont : celles de Monlézi (Val-de-Travers), les deux de S^t^-Livres, celles de S^t^-Georges et de la Genollière dans le Jura vaudois, celles de la Grâce-Dieu, d'Arc-sous-Cicon et de Chaux-les-Passavents dans le département du Doubs. M. Browne [11] les a étudiées et M. de Tribolet a traduit la description de la première d'entre elles. L'auteur se rattache tout à fait pour expliquer la formation et la conservation de la glace à la théorie donnée par M. Thury**.

* *Ice-caves of France and Switzerland*, a narrative of subterranean exploration, 1865.

** *Archives des Sc. phys. et nat.*, 1861.

FAUNE QUATERNAIRE. On a découvert dans le lœss de la vallée du Rhin, à Unkel, les ossements du mammouth, du *Rhinoceros tichorinus*, du renne, du cheval. M. RŒMER [91] a ajouté à cette liste l'*Ovibos moschatus* dont on avait déjà reconnu des ossements isolés dans d'autres parties de l'Allemagne.

*Wetzikon.* La découverte faite par M. RUTIMEYER [93] des restes d'industrie humaine dans le lignite interglaciaire de Wetzikon (Rev. pour 1875, 169) ayant été mise en doute de divers côtés*, M. Schwendener les a soumis à un nouvel examen microscopique qui a parfaitement confirmé ses premières recherches ; l'enveloppe des bâtonnets est formée de lamelles d'un conifère (probablement *Pinus sylvestris* ou *montana*) découpées dans le sens des rayons médullaires et se croisant à angle droit avec le tissu des bâtons qu'elles enveloppent ; les tissus des deux objets sont complétement indépendants. Une comparaison attentive faite par M. Rutimeyer avec les objets travaillés par les castors, prouve qu'il est impossible de rapporter à ces animaux le travail exécuté sur les bâtonnets de Wetzikon ; ils sont nécessairement un produit de l'industrie humaine et datent de l'époque même du lignite comme le prouve leur altération superficielle.

*Cavernes.* J'ai déjà parlé à plusieurs reprises des très remarquables découvertes faites dans la caverne de Thaingen (Rev. pour 1875, 386 et pour 1876, 170) et particulièrement de la perfection des dessins gravés sur les ossements qui y ont été recueillis. Il a été reconnu que deux de ces gravures, celles d'un renard et d'un ours,

* v. Frantzius, *Arch. für Anthrop.*, 1876, IX, 105; — Steenstrup, *Ibid.*, 77; — Jentsch, *Ber. der physisch-ökon. Ges. zu Königsberg*, 1er oct. 1875.

sont le résultat d'une contrefaçon. M. LINDENSCHMIT [65] en a conclu que toutes les trouvailles faites dans cette caverne sont fausses et que l'ensemble n'est que le résultat d'une grande mystification. M. le professeur J. MULLER [76] a protesté contre cette accusation et a démontré de la manière la plus claire la parfaite authenticité de toutes les autres pièces, qui conservent par conséquent toute leur valeur.

M. A. BERTRAND [9] a montré la grande ressemblance qui existe entre les restes recueillis dans la caverne de Thaingen et ceux des cavernes du midi de la France. Il a donné un excellent dessin de la gravure de renne trouvée dans cette caverne. D'après lui, l'époque du renne et de la pierre taillée ne remonte point en France à une grande antiquité et elle est contemporaine d'événements, qui en Italie et en Orient, appartiennent à l'histoire. L'isolement des populations est une explication naturelle de l'état peu avancé de leur civilisation.

M. QUIQUEREZ [85] a décrit la station quaternaire de Bellerive (Rev. pour 1875, 390, pour 1874, 314). Le dépôt de lehm, dans lequel les objets préhistoriques ont été renfermés, est dû à un courant diluvien régulier, charriant les éléments fins dans lesquels sont venus s'intercaler les éléments plus grossiers provenant des eaux torrentielles du Vorbourg. Les instruments qui y ont été trouvés sont des silex taillés et une hache en pierre polie dont M. Quiquerez donne des dessins. On n'y voit aucune trace de poterie. Les os fendus sont nombreux, les bois de cerfs très communs. Les ossements, déterminés par M. Rutimeyer, appartiennent aux espèces suivantes : *Cervus elaphus, C. capreolus, Bos primigenius, B. taurus, Bos* sp., *Equus caballus, Sus scrofa ferus, Sus* sp., *Castor fiber*, ours brun, *Elephas primigenius*. Quelques autres osse-

ments ont été trouvés dans d'autres parties du dépôt de lehm.

M. THIESSING[101] a publié de nouveaux documents sur la caverne du moulin de Liesberg (Rev. pour 1875, 390) située sur le chemin de fer de Delémont à Bâle ; elle est aussi de l'époque de la pierre et a fourni de nombreux ossements qui appartiennent en majeure partie à des animaux polaires.

Le même auteur a encore signalé la découverte d'une caverne à Oberlarg en Alsace. Elle paraît d'époque plus récente, car elle renferme des poteries et même un objet de cuivre. Il donne la liste des animaux dont les ossements ont été trouvés dans ces deux cavernes.

*Stations lacustres.* Le septième rapport sur les établissements lacustres de la Suisse, publié par M. KELLER[61], contient les résultats des recherches faites par MM. Gross, Forel, de Fellenberg, Rutimeyer, Uhlmann et Th. Studer dans les lacs de Bienne, Morat, Neuchâtel et Genève depuis l'année 1866 (Rev. pour 1875, 390). Ces recherches, facilitées par l'abaissement du niveau des trois premiers lacs, ont amené d'importantes trouvailles, surtout dans les stations de Mœrigen et d'Auvernier. M. Forel a publié quelques nouveaux documents sur celles de Morges.

On a découvert 3 à 400 porte-aiguilles dans la station de Mœrigen. Dans l'un deux, figuré par M. GROSS[44], se trouve encore implantée une aiguille en bronze. Autour de la partie supérieure sont disposés 6 orifices conduisant chacun dans un canal. La découverte faite par M. Gross explique l'usage de ces instruments nommés fusaïoles.

Un crâne bien conservé d'un animal voisin de l'âne a

été découvert dans la station lacustre d'Auvernier. Il est difficile, d'après M. RUTIMEYER[92], de définir exactement sa nature. C'est le premier squelette, trouvé en Suisse, qui permette de constater qu'il y avait à cette époque, outre le cheval, un autre animal du même genre dans notre pays. Un crâne de bœuf provenant de la station de Sutz est semblable a un crâne trouvé à Concise et décrit par le même auteur ; il appartient à la race *Trochoceros* qui est une variation individuelle du *Bos primigenius*. Ces formes, ainsi qu'un chien, un mouton et une chèvre recueillis à Chavannes, font disparate au milieu de la faune indigène des lacustres et ont dû être amenées par le commerce ou par des migrations.

Des tombeaux de l'époque des habitations lacustres ont été découverts à Montreux, près du débarcadère. Le premier squelette trouvé était recouvert d'une dalle de pierre calcaire, d'autres exhumés plus tard étaient sans protection ; des vases de terre et quelques objets de bronze accompagnaient ces ossements. M. RODE[90] a décrit ces tombes et figuré les objets.

M. SCHNETZLER[95] a signalé la découverte faite à St-Triphon, d'une fonderie de l'âge du bronze ; les restes se composent de ceux d'une forge dont le foyer est encore environné de charbon, de 5 haches en bronze et de morceaux de ce métal non travaillés *.

*Pierres à écuelles.* M. DESOR[24] a publié un article sur les pierres à écuelles, monuments qui sont fréquents en Suisse et qui se retrouvent dans la Grande-Bretagne, les Pyrénées, l'Allemagne et l'Inde. Ce dernier pays a été le point de départ de la race à laquelle nous les devons

* *Matér. pour l'histoire de l'homme,* 1877, VIII, p. 248.

ainsi que les haches de jadéïte et de néphrite. Cette race s'est répandue en Europe au commencement de l'époque de la pierre polie. Les écuelles, cavités circulaires de dimensions variables, creusées avec des silex, servaient probablement, ainsi que d'autres marques qui les accompagnent quelquefois, de signes commémoratifs pour des événements qui devaient se conserver par tradition. On compte en Suisse une cinquantaine de ces pierres qui ont été l'objet des recherches de M. Keller* et de M. Vionnet**.

*Lac de Neuchâtel.* La correction des eaux du Jura [35], qui a pour but de faire baisser le niveau des eaux des lacs de Neuchâtel, de Bienne et de Morat et de rendre à l'agriculture de vastes terrains qui sont aujourd'hui des marais, s'opère par la dérivation de l'Aar dans le lac de Bienne, le redressement de la Broie et de la Thielle et les creusements du canal de dégagement du lac de Bienne qui ira rejoindre l'Aar à Mayenried***. Le niveau moyen des eaux qui était pour les lacs de Morat 435$^{m}$,60, Neuchâtel 435$^{m}$,50, Bienne 434$^{m}$, a déjà baissé de près de 2$^{m}$. Plusieurs stations lacustres ont été émergées.

Un banc de tourbe d'une étendue considérable a été mis à découvert près de St-Blaise, par suite de l'abaissement des eaux. On y trouve toute une ancienne forêt de pins (*Pinus sylvestris*) de la grosseur des pins actuels ; ils mesurent 1 à 3 pieds de tour. Cette forêt a dû border le lac à une époque ancienne et sa présence ainsi que celle de la tourbe prouve que les eaux étaient autre-

* *Die Zeichen- oder Schalensteine der Schweiz.* Mittheil. d. antiquar. Ges., Zurich. 1870, XVII.

** *Les monuments préhistoriques de la Suisse et de la Savoie*, 1872.

*** *Correction des eaux du Jura*, par F. Demole.—*Messager boiteux de Neuchâtel*, 1878, 51. *Le Peuple*, 1, 8, 15 nov. 1877.

fois à un niveau bien inférieur à celui de ces dernières années. On trouve un nouvel argument en faveur de cette opinion dans l'étude des berges de la Tine qui s'étendent de Préfargier à la Maison Rouge. Il y a, dans cette région du lac, une importante station lacustre qui a été complétement envahie par le sable et le gravier. Cet envahissement n'a pu avoir lieu que lorsque les eaux, en s'exhaussant, ont recouvert et en partie détruit une digue ou moraine qui protégeait auparavant la station et qui est de nouveau émergée. Dans ces graviers se trouvent des briques et des tuiles romaines qui étaient fabriquées, à l'époque gallo-romaine, par les habitants d'une station voisine, établie sur une tourbière qui apparaît aujourd'hui. On y a trouvé des monnaies d'Auguste, de Tibère, de Claude et d'Adrien; c'est donc postérieurement à cette époque qu'a eu lieu l'exhaussement du niveau du lac dont on attribue la cause à un éboulement qui a en partie barré le cours de la Thielle.

---

## NOTES

[1] Bachmann. Neuere Beobachtungen über die Bodenverhältnisse Berns. Mittheil. naturf. Ges. Bern, 1876, 105; *p. 216.* — [2] Ueber ein neu errichtetes erratisches Monument auf der grossen Schanze in Bern. Ibid., 122; *p. 217.* — [3] Der erhaltene Riesentopf am Längenberg, 1877; *p. 217.*

[4] Baltzer. Beiträge zur Geognosie der Schweizeralpen. 2. Ueber die Marmorlager am Nordrand des Finsteraarhorn-Massivs. Ueber ein eigenthümliches Lagerungsverhältniss an der Gränze von Gneiss und Kalk am Nordrand des Finsteraarhorn-Massivs. Neues Jahrb., 1877, 678; *p. 177.* — [5] Ueber die Contact-Erscheinungen an der Nordgrenze der Finsteraarhorn-Centralmasse. Neues Jahrb., 1878, 26; *p. 178.*

[6] Baretti. Studi geologici sul gruppo del Gran Paradiso. Reale Acad. dei Lincei, 1877; *p. 159, 172, 220.*

[7] Belt. On the lœss of the Rhine and the Danube. Quart. Journ. of science, 1877; *p. 211.*

[8] BENOIT. Note sur une expansion des glaciers alpins dans le Jura central par Pontarlier. Bull. Soc. géol., 1876, V, 61 ; *p. 218.*

[9] BERTRAND, A. Archéologie celtique et gauloise. 1876. Le renne de Thaingen ; *p. 224.*

[10] BOUVIER, L. De Saussure, sa vie, ses voyages et ses observations dans les Alpes. 1877 ; *p. 153.*

[11] BROWNE, G. F. Note sur la glacière de Monlézi, et mémoire sur l'origine de la glace souterraine (traduit et annoté par M. de Tribolet). Bull. Soc. Neuchâtel, 1877, X ; *p. 222.*

[12] CAVIEZEL. Das Ober-Engadin. 1876 ; *p. 154.*

[13] CAZIN. Les fontaines ardentes de Châtillon (Haute-Savoie). Club alp. fr. Bull. trim., 1876, 335 ; *p. 164.*

[14] CHAVANNES, S. Origine des gypses et des cargneules. Archives, 1877, LX, 309 ; *p. 183.*

[15] CHOFFAT, P. Lettre relative à ses recherches géologiques dans le Jura en 1876. Club alp. franç., section du Jura, 1877 ; *p. 189.* — [16] Die Palæontologie, deren Methode, Nutzen und Ziel. Oeffentl. Vortr., IV, 1877 ; *p. 190.* — [17] Age du gisement fossilifère des Sèches des Amburnets. Bull. Soc. vaud., 1877, XIV, 587 ; *p. 190.*

[18] COMMISSION GÉOLOGIQUE. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, XIV. Geologische Beschreibung des Kanton St. Gallen und seiner Umgebungen, von H. Gutzwiller, Kaufmann und Mœsch. 1877 ; *p. 153.*

[19] CONSEIL FÉDÉRAL. Rapports mensuels sur l'état des travaux de la ligne du Gothard. Rapports trimestriels. Geologische Tabellen und Durchschnitte. Rapports mensuels ; *p. 154.*

[20] COQUAND. Sur l'âge de la Terebratula janitor. Bull. Soc. géol., 1877, V, 148 ; *p. 193.*

[21] CURIONI. Geologia. I. Geologia applicata delle provincie Lombarde. II. Descrizione Ragionata, 1877 ; p. *160, 162, 179, 184, 185.*

[22] DALE, N. A study of the Rhætic Strata of the Val di Ledro in the Southern-Tyrol. Paterson, 1876 ; *p. 161.*

[23] DE LA HARPE, Ph. Note sur la géologie des environs de Louèche-les-Bains. Bull. Soc. vaud., 1877, XV, 17 ; *p. 157, 186.*

[24] DESOR. Les pierres à écuelles, 1878 ; *p. 226.*

[25] EBRAY. Stratigraphie de la montagne du Môle. Bull. Soc. géol., 1876, IV, 568 ; *p. 158.* — [26] Étude sur les eaux minérales d'Évian (Haute-Savoie). Bull. Soc. géol., 1877, V, 394 ; *p. 164.* — [27] Étude des terrains du Bois de la Bâtie, près Genève. Bull. Soc. géol., 1876, V, 115 ; *p. 213.* — [28] Rapports de la faille du Salève avec la ligne anticlinale qui relie la Bavière, la Suisse et la Savoie. Bull. Soc. géol., 1877, V, 318 ; *p. 168.*

[29] Empereur. Une montagne qui s'écroule. Rev. scient., 1877, XIII, 139; *p. 222.*

[30] Favre, A. Températures des années qui ont précédé l'extension des glaciers en 1817 et 1818. Actes Soc. helv. Bâle, 1876, 57; *p. 215.* — [31] Sur les anciens glaciers du revers septentrional des Alpes suisses. Actes Soc. helv. Bâle, 1876, 136; *p. 215.*

[32] Favre, E. Louis Agassiz. Notice biographique. Archives, 1877, LXIX; *p. 153.* — [33] La zone à Ammonites acanthicus dans les Alpes de la Suisse et de la Savoie. Mém. Soc. paléont. suisse, 1877, IV; *p. 191.* — [34] Sur les deux époques glaciaires; *p. 212.* — [35] Abaissement des lacs de Neuchâtel et de Bienne; *p. 227.*

[36] Forel. Glacier de l'Aar. Bull. Soc. vaud., 1877, XIV, 669; *p. 220.*

[37] Fuchs, Th. Ueber die Natur der sarmatischen Stufe und deren Analogie in der Jetztzeit und in früheren geologischen Epochen. Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, 1877; *p. 164.* — [38] Ueber die Natur des Flysches. Sitzb. Akad. Wiss. Wien, 1877; *p. 203.* — Ueber die Entstehung der Aptychenkalke. Sitz.-Ber. der k. Akad. Wiss. Wien, 1877, LXXVI; *p. 194.*

[40] Gastaldi. Su alcuni fossili paleozoici delle Alpi maritime e dell' Apennino Ligure studiati da Michelotti. R. Acad. dei Lincei, 1877; *p. 173.*

[41] Grad, Ch. Les glaciers et l'origine des vallées. Ann. du Club alp. franç., 1876, III, 474; *p. 221.*

[42] Greppin. Fossiles du Val Ferret. Actes Soc. helv. Bâle, 1876, 59; *p. 186.* — [43] Notice sur les pavés du Jura. Le Correspondant de Bâle, 20 oct. 1877; *p. 209.*

[44] Gross. Un porte-aiguille lacustre de Mœringen. Matér. pour l'hist. de l'homme, 1877, VIII, 235; *p. 225.*

[45] Gümbel. Geognostische Mittheilungen aus den Alpen. IV. Der Pechsteinporphyr im Süd-Tyrol. Sitzungsber. Akad. Wiss. München, 1876, 271; *p. 163.* — [46] Die geognostische Durchforschung Bayerns, 1877; *p. 162, 163, 181, 194, 196, 219.*

[47] Gutzwiller. Molasse und jüngere Ablagerungen enth. auf Bl. IX des Eidgen. Atlas. Matér. etc., livr. XIV, 1877; *p. 205, 215.*

[48] Hagenbach. Ueber die physikalisch-topographische Aufnahme des Rhonegletschers durch H. Ing. Gosset in den Jahren 1874-1876. Actes Soc. helv., 1875, 158; *p. 220.*

[49] Hebert et Munier-Chalmas. Recherches sur les terrains tertiaires de l'Europe méridionale. Cptes Rendus, 1877, LXXXV; *p. 202.*

[50] Heer. Flora fossilis Helvetiæ. II et III. Die Pflanzen der Trias, des Jura, der Kreide und des Eocen. 1876, 1877; *p. 181, 185, 199.*

[51] HEIM. Ueber die Entstehung der Alpen. Vierteljahrsschr. Zurich, 1876, XXI, 297 ; *p. 167.* — [52] Ueber den Mechanismus der Gesteinsumformung. Ibid., 1877, XXII, 115 ; *p. 167.* — [53] Das ostschweizerische Erdbeben vom 2. Mai 1877 ; *p. 166.* — [54] Tödi-Sardona-Kärpf-Gruppe. Itinerarium für das Excursionsgebiet des S. A. C. Jahrb. Schw. Alpen-Club, 1877, 277 ; *p. 154.*

[55] HERBST, G. Der Genfer See. Eine naturwissenschaftliche Skizze. 1877 ; *p. 158.*

[56] JERVIS, G. I tesori sotteranei dell' Italia, 1873 ; *p. 159.*

[57] JOHN, C. Voyez STACHE.

[58] JONES, R. On some Foraminifera in the Chalk of the North of Ireland. Proced. of the R. geol. Soc. of Ireland, 1873 ; *p. 196.* — [59] On Swiss Jurassic Foraminifera. Geolog. Magaz. 1873, X, 208 ; *p. 186.*

[60] KAUFMANN. Kalkstein- und Schiefergebiete der Kantone Schwyz und Zug und des Bürgenstocks bei Stanz, enth. auf Bl. IX des eidgen. Atlas. Matér. etc., XIV, 1877 ; *p. 182, 188, 195, 196, 198, 199, 205.*

[61] KELLER. Phahlbauten-Berichte. 7. Mittheil. antiqu. Ges. Zurich, 1876. Extr. Matér. pour l'hist. de l'homme, 1877, VIII, 422 ; *p. 225.*

[62] KOCH, G. A. Petrefakten vom Plateau der Sulzfluh. Verhandl. k. k. g. Reichsanst., 1876, 371 ; *p. 195.*

[63] LEBERT. Notice biographique sur Jean de Charpentier. Actes Soc. helv., 1877. Archives, 1877, LX, 272 ; *p. 153.*

[64] LEPSIUS. Geologische Karte des westlichen Südtyrol. 1875-1876 ; *p. 161.*

[65] LINDENSCHMIT. Ueber die Thierzeichnungen auf den Knochen der Thainger Höhle. Arch. für Anthrop. 1876, IX, 173 ; *p. 224.*

[66] MARIGNAC (DE). Sur un bloc erratique de granit des environs de Genève. Comptes-rendus Ac. Sc., 1877, LXXXV ; *p. 217.*

[67] MARTIN, J. Le callovien et l'oxfordien du versant méditerranéen de la Côte-d'Or. Bull. Soc. géol., 1877, V, 178 ; *p. 188.*

[68] MARTINS. Des moraines contenant des coquilles considérées comme moraines sous-marines. Actes Soc. helv., 1876, 249 ; *p. 209.*

[69] MAYER, K. Palæontologie der Pariserstufe von Einsiedeln und seinen Umgebungen. Matér., etc., XIV, 1877. Résumé Bull. Soc. géol., 1876, IV, 361 ; *p. 200.*

[70] MERCALLI, G. Osservazioni geologiche sul terreno glaciale dei dintorni di Como. Atti Soc. ital. Sc. nat., 1876, XIX ; *p. 210.*

[71] MILLER, K. Das Molassemeer in der Bodenseegegend. Ver. für Gesch. des Bodensee's und s. Umgebung., 1877, VII ; *p. 270.*

[72] MŒSCH, C. Reisebericht über meine diesjährigen geologischen Beobachtungen. Actes Soc. helv., 1876, 256 ; *p. 187, 194, 215.*

[73] Muhlberg. Structure du Jura argovien. Actes Soc. helv. Bâle, 1876, 51 ; *p. 168.*

[74] Muller, A. Beschreibung des Bohrlochs (in Ber. des Verwaltungsrathes der Schw. Steinkohlbohrges., 1876) ; *p. 163.* — [75] Ueber die anormalen Lagerungsverhältnisse im westlichen Basler Jura. Verhandl. Basel, 1877, 428; *p. 169.*

[76] Muller, J.-J. Oeffentliche Erklärung über die bei Thainger Höhlenfunden vorgekommene Fälschung. Indic. d'antiq. suisses, 1877; *p. 224.*

[77] Munier-Chalmas. Voy. Hebert.

[78] Nogués. Terrain tertiaire des Déserts près Chambéry Bull. Soc. géol., 1877, V, 308 ; *p. 203.*

[79] Omboni. Il mare glaciale e il pliocene al piedi delle Alpi Lombarde. Atti. Soc. ital. Sc. nat. 1876, XIX; *p. 210.*

[80] Pfaff. Mont-Blanc Studien, II. Zeitschr. d. geol. Ges. 1876, XXVIII, 673; *p. 171.*

[81] Pictet, Ed. Le lac de Genève. Carte à 1 : 12,500. 1877 ; *p. 158.*

[82] Pillet. Orographie et géologie de la chaîne du Nivolet (Savoie). Ann. club. alp. franç., 1876, III, 519; *p. 159.*

[83] Platz. Ueber die Spuren ehemaliger Gletscher im Schwarzwald. Karlsruher Zeit. 30 nov. 1877; *p. 219.*

[84] Privat, Ph. Quelques mots sur les glaciers. Écho des Alpes, 1877 ; *p. 220.*

[85] Quiquerez. Notice sur des débris de l'industrie humaine découverts dans le terrain quaternaire à Bellerive près de Delémont en 1874. Mittheil., Bern, 1876, 55; *p. 224.*

[86] Renevier. Notice sur ma carte géologique de la partie sud des Alpes vaudoises et régions limitrophes. Archives Bibl. univ., 1877 ; *p. 156, 183.* — [87] Notice sur les blocs erratiques de Monthey (Valais) devenus la propriété de la Société vaudoise des Sciences naturelles. Bull. Soc. vaud., 1877, XV, 105; *p. 217.*

[88] Rochat, L. Voyez de Tribolet.

[89] Rochat, etc. Les gisements bitumineux du canton de Genève, 1877 : *p. 205.*

[90] Rode. Tombeaux du temps des habitations lacustres. Indic. d'antiqu. suisses, 1877, 759; *p. 226.*

[91] Rœmer, F. Notiz über das Vorkommen des Moschus-Ochsen im Lœss des Rheinthals. Zeitschr. d. geol. Gesellsch., 1877, XXIX, 592 ; *p. 223.*

[92] Rutimeyer. Schädel von Esel und von Rind aus den Pfahlbauten von Auvernier und Sutz. Mittheil. antiq. Ges. Zurich. 1876; *p. 226.*

[93] Rutimeyer et Schwendener. Ueber die Wetzikonstäbe. Actes Soc. helv. 1876, 286 ; *p. 223.*

[94] SANDBERGER. Zur Urgeschichte des Schwarzwaldes. Actes Soc. helv., 1876, 113 ; *p. 162.*

[95] SCHNETZLER. Discours d'ouverture de la 60e session de la Société helvétique des Sciences naturelles à Bex. Actes Soc. helv. 1877 ; *p. 153, 183, 226.*

[96] SCHWENDENER. Voy. RUTIMEYER.

[97] SORDELLI. Observations sur quelques plantes fossiles du Tessin méridional et sur les gisements qui les renferment. Archives, 1877, LIX, 250; *p. 211.*

[98] STACHE. Beiträge zur Fauna der Bellerophonkalke Südtyrols. I. Cephalopoden und Gastropoden. Jahrb. der k. k. g. Reichsanst., 1877, XXVII, 271 ; *p. 181.*

[99] STACHE, G. et JOHN, C. Geologische und petrographische Beiträge zur Kenntniss der älteren Eruptiv- und Massengesteine der Mittel- und Ostalpen. I. Das Zwölferspitzgebiet. Jahrb. der k. k. geol. Reichsanst. 1877, XXVII, 143 ; *p. 161, 175, 184, 214.*

[100] STAPFF. Studien über die Wärmevertheilung im Gothard, I, 1877 ; *p. 156.*

[101] THIESSING. Ueber zwei Höhlen im Jura. Mittheil. Bern, 1876, 66 ; *p. 225.*

[102] TISSOT. Le climat d'Annecy et les glaciers de la Haute-Savoie. Ann. Club alp. franç., 1876, III, 510 ; *p. 220.*

[103] TOMBECK. Note sur la position probable de la zone à Ammonites tenuilobatus dans la Haute-Marne. Bull. Soc. géol., 1877, V, 304 ; *p. 191.*

[104] TOURNOUER. Sur la faune tongrienne des Déserts près Chambéry (Savoie). Bull. Soc. géol., 1877, V, 333 ; *p. 203.*

[105] TRIBOLET, M. DE. Note sur les différents gisements de Bohnerz dans les environs de Neuchâtel. Bull. Soc. Neuchât., 1877, XI, 24 ; *p. 205.* — [106] Note sur le genre Posidonomya et en particulier sur le P. Alpina, Gras, et P. ornati, Qu., suivie d'une liste des Posidonomyes jurassiques. Journ. de Conchyl., 1877, 247 ; *p. 186.* — [107] Sur le gault de Renan. Delémont, 1877 ; *p. 197.* — Les sondages de Rheinfelden. Rev. scient. suisse, 1877, I, 44 ; *p. 197.* — [108] Tremblement de terre du 2 mai et du 8 octobre 1877. Rev. scient. suisse, 1877, I, 138, 250; *p. 166.*

[109] TRIBOLET, M. DE, et ROCHAT, L. Études géologiques sur les sources boueuses (bonds) de la plaine de Bière (Vaud). Bull. Neuchâtel, 1877; *p. 221.*

[110] VANDEN BRŒCK, E. Notes sur une excursion scientifique en Suisse. Ann. Soc. malac. de Belgique, 1875, X ; *p. 197.*

[111] VÉZIAN, A. Les anciens glaciers du Jura. Ann. du club alp. franç., 1876, III, 487 ; *p. 217.*

# RECHERCHES

FAITES DANS LE

# LABORATOIRE DE PHYSIOLOGIE

DE GENÈVE

## VII

## Sur les nerfs dits arrestateurs[1]

Par M. le professeur SCHIFF.

---

### 2. *L'irritation négative.*

Nous appelons *négative* une irritation, — c'est-à-dire un changement moléculaire passager provoqué par une cause physique, — empêchant une autre irritation, qui sans la première aurait eu un effet positif, de produire un mouvement ou une sensation, ou bien diminuant considérablement l'effet de l'irritation positive.

Il est généralement admis que tout changement moléculaire très-rapide dans l'intérieur du nerf constitue une irritation, et que très-probablement les différentes causes irritantes, telles que l'ouverture et la fermeture d'un courant, l'application d'un courant ascendant ou descendant, ne produisent pas le mouvement moléculaire dans le *même* sens et dans la *même* direction. D'après cette donnée

[1] Pour la première partie, voyez *Archives*, Déc. 1877, t. LX, p. 489.

il devient très-probable que deux irritations différentes, qui, partant de deux points d'un même nerf, tendent à produire deux changements différents dans toute la partie périphérique, peuvent dans beaucoup de cas s'opposer mutuellement à la production d'un changement moléculaire consécutif assez considérable pour qu'il puisse provoquer un mouvement musculaire ou une sensation, même si chacune des deux irritations prise isolément eût pu produire un mouvement ou une sensation très-énergique.

Donc si l'on admet, — et les résultats de l'irritation électrique paraissent plutôt favorables à cette idée, dont on n'a jamais prouvé le contraire, — que les molécules d'un nerf irrité se meuvent au delà du point de l'irritation d'une manière différente, dans un autre sens et dans des groupes différents, selon la nature de la cause qui a provoqué le mouvement, le théorème de l'irritation *négative* n'a rien de paradoxal, et il vaut la peine d'examiner si son existence réelle peut être prouvée par l'expérience.

Pour notre but nous devons nous en tenir à l'irritation électrique, parce qu'il est important de connaître exactement le moment de l'irritation et de constater la simultanéité de deux irritations. Les irritations thermiques, mécaniques ou chimiques ne permettent pas une détermination précise. L'irritation électrique peut troubler les résultats en produisant l'électrolyse, l'électrotonus et l'irritation unipolaire, et l'on verra dans la suite que très-souvent nous aurons à prouver que nous n'avons pas été trompés par ces phénomènes.

Pour montrer qu'une certaine forme de l'activité du nerf moteur (car nous n'avons pas fait de recherches sur les nerfs sensitifs) peut supprimer une contraction muscu-

laire qui aurait dû se manifester si le nerf n'avait pas été irrité, nous parlerons en premier lieu d'une expérience déjà connue depuis très-longtemps, mais qui n'a jamais été suffisamment expliquée et modifiée.

Il s'agit de prendre un muscle gastrocnémien de grenouille dont le nerf sciatique a été préparé dans presque toute sa longueur. Lorsque l'excitabilité du nerf coupé a diminué, on arrive ordinairement plus ou moins vite à une période de longue durée dans laquelle un courant *ascendant* faible ou fort qui parcourt le nerf (le pôle positif étant placé tout près du muscle), ne détermine plus de contraction au moment de la fermeture, mais une forte contraction au moment de l'ouverture. On admet que le nerf au moment de la fermeture n'agit pas sur le muscle. Le muscle, ou plutôt la partie intramusculaire du nerf, se trouve encore pendant très-longtemps dans l'état physiologique, c'est-à-dire qu'il se produit une contraction au moment de la fermeture, lorsque les deux pôles d'une pile d'intensité moyenne sont placés sur sa substance, ou de façon qu'un de ses pôles touche le tendon et l'autre la partie supérieure du muscle ; la direction du courant est indifférente. Même si on ne touche pas directement le muscle, pourvu que celui-ci à l'exclusion du nerf soit parcouru par le courant, et que ce dernier ne soit pas trop affaibli par la résistance, la contraction se montre à la fermeture. La contraction d'ouverture peut exister ou non, elle ne nous intéresse pas dans ce moment.

Mais si, toujours dans les mêmes conditions de l'excitabilité du nerf, on touche le tendon ou la substance du muscle vers son extrémité inférieure avec le pôle positif, et le nerf à une certaine distance du muscle avec le pôle négatif, la contraction *ne se produit pas* au moment de la

fermeture, bien que presque toute la longueur du muscle soit parcourue par le courant. Si la partie intrapolaire du nerf à l'entrée dans le muscle est très-courte, on peut voir encore dans quelques cas des contractions très-affaiblies du muscle au moment de la fermeture; mais si on prolonge la partie intrapolaire du nerf, tout en y conservant la direction du courant, ces restes de contractions disparaissent entièrement.

Qu'est-ce qui empêche dans ce cas la contraction du muscle?

Nous supposons qu'on ait pris une pile assez énergique et offrant une résistance assez forte pour que des diminutions très-considérables du courant par une augmentation de la résistance dans le circuit, ne suppriment pas la contraction musculaire au moment de la fermeture. C'est une condition qui est très-facile à remplir dans le cas dont il s'agit. Cependant, pour s'assurer que la résistance très-grande du nerf n'a pas empêché la contraction en trompant toutes nos prévisions, nous lions le nerf au niveau de son entrée dans le muscle avec un fil imbibé d'eau salée à $^1/_2$ pour cent. Le tronc nerveux a perdu son influence sur le muscle et nous pouvons maintenant fermer le courant, le pôle positif sur le tendon et le négatif sur le nerf, même plus éloigné du muscle que dans la première expérience, et, malgré la résistance égale ou augmentée, la contraction de fermeture ne manquera plus. On peut faire une autre expérience de contrôle sans lier le nerf, en faisant partir de l'extrémité supérieure du muscle un fil humide (imbibé de sel) plus mince et plus long que le nerf, et la contraction de fermeture existera, pourvu que le courant ne soit pas trop faible.

Quand après quelque temps le nerf est mort jusqu'au

muscle, pourvu que le premier soit tenu humide et que le muscle ait conservé sa réaction physiologique, c'est-à-dire qu'il obéisse à la fermeture, on peut intercaler le nerf dans le courant ascendant sans que la contraction disparaisse à la fermeture.

Ces expériences si simples prouvent que l'introduction du nerf dans le courant ascendant empêche la contraction du muscle ; c'est là une propriété spéciale au nerf.

On pourrait supposer que l'expérience que nous venons de décrire a quelque relation avec les faits que *Pflüger* a décrits comme dépendants de l'état électrotonique des nerfs. Dans les expériences de Pflüger, le pôle positif d'un courant constant qui parcourt un nerf diminue et suspend son excitabilité au voisinage du pôle, tandis que le pôle négatif exalte cette propriété. Il est vrai que dans notre expérience le pôle positif ne touche pas le nerf, mais on pourrait admettre que dans le point où le courant entre dans le nerf seul, ou tout près du muscle, il augmente sa densité ; il se serait formé dans le nerf un autre pôle positif local, qui en réagissant sur le muscle en suspend l'excitabilité.

Cette explication n'est pas admissible. Pour le prouver il faut varier la forme de l'expérience. On doit se servir de *deux* piles avec des électrodes impolarisables qui, fermées par le nerf ou par le muscle, donnent encore une déviation assez visible du galvanomètre. Un courant ascendant va de l'extrémité supérieure du muscle vers la partie lombaire du nerf ; l'autre courant, auquel on donne à l'aide de rhéostats liquides et impolarisables la même déviation galvanométrique que possède le premier, va du tendon à l'extrémité supérieure du muscle.

A l'aide d'un des dispositifs que nous décrirons plus

tard, on peut fermer les deux courants ou exactement dans le même moment ou successivement avec des intervalles qu'on peut varier arbitrairement. Quand on ferme les deux courants simultanément on a le même effet que dans l'expérience précédente, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de trace de contraction si le nerf n'est pas trop frais, s'il a été choisi dans les conditions que nous avons indiquées. Si l'on ferme le courant du muscle une ou deux secondes après le courant du nerf, on a une contraction. Donc il y a contraction si le nerf n'est plus *irrité* par la fermeture, mais se trouve encore sous l'influence du courant ascendant. Cette contraction peut, lorsqu'on la fait inscrire sur une plaque enfumée, être un peu plus petite que la contraction sans polarisation du nerf; mais ce qui est essentiel c'est qu'elle ne manque pas, si le courant est assez fort. Les recherches de Pflüger nous montrent que l'influence déprimante de l'état électrotonique du côté du pôle positif ne disparaît et ne diminue pas une seconde après la fermeture, qu'au contraire la dépression de l'irritabilité augmente encore à cette époque, lorsque le courant n'a pas été d'une force excessive. Un des résultats les plus surprenants des recherches assidues de Pflüger, c'est la lenteur avec laquelle se développe l'influence physiologique du pôle positif de la pile par rapport à l'excitabilité. Un fait analogue a été trouvé par *Du Bois-Reymond* relativement au développement si ralenti de l'influence galvanométrique du pôle positif sur la partie extrapolaire du nerf, comparé à la rapidité avec laquelle se développe l'influence galvanométrique extrapolaire du pôle négatif. Remarquons que dans nos expériences sur la polarisation secondaire extrapolaire des conducteurs métalliques entourés de solutions électrolytiques, nous

avons trouvé des différences analogues dans la rapidité avec laquelle se développe le courant secondaire des deux côtés du courant primitif. Les *différences* dans la rapidité du développement existaient, mais pour toutes les combinaisons de fils métalliques avec des électrolytes elles ne se montraient pas toujours dans le même sens que dans le nerf.

Pflüger dit à propos de l'état électrotonique du côté positif du courant ascendant (*Physiologie de l'Electrotonus*, Berlin, 1859, p. 319), qu'il a été surpris par la lenteur avec laquelle se produit l'état électrotonique du pôle positif. *Il n'existe pas immédiatement au moment de la fermeture*, mais il augmente et se propage très-lentement, et n'atteint son maximum qu'après un certain nombre de secondes. « Il m'est souvent arrivé, dit-il, de ne trouver aucune trace d'une modification de l'irritabilité lorsque j'irritais rapidement et presque immédiatement après la contraction de fermeture du courant polarisant, pendant qu'il existait une très-forte dépression de l'excitabilité, trente secondes ou une minute après la fermeture. »

Dans le chapitre qui traite de l'état anélectrotonique au-dessus du courant descendant (loc. cit. p. 390), Pflüger dit que, pour ne pas être induit en erreur par la lenteur avec laquelle se développe cette phase de l'électronus, il attendait ordinairement vingt-cinq secondes après la fermeture du courant polarisant avant d'examiner la modification de l'excitabilité.

Le défaut ou la diminution de la contraction musculaire, qui se montre lorsque deux courants ascendants parcourent le nerf et le muscle, et dans les conditions que nous avons indiquées, n'existe au contraire qu'au moment de la fermeture des courants forts ou faibles; l'expé-

rience ne réussit plus lorsqu'on fait entrer le même courant dans le muscle $^1/_{100}$ de seconde après la fermeture du courant dans le nerf, il est donc évident que ce phénomène est lié comme l'irritation au *moment* de la fermeture et qu'il ne peut pas dépendre des modifications de l'excitabilité qui ont été étudiées par Pflüger sous le nom de *Electrotonus.*

J'ai donné cette preuve avec un peu de détail, ce qui doit me dispenser de répéter *in extenso* le même raisonnement pour tous les faits que j'aurai encore à communiquer, et dont l'indépendance de l'électrotonus peut être prouvée d'une manière analogue.

Je vais maintenant parler d'une expérience dans laquelle ce n'est pas la simple fermeture d'un courant de la pile, mais une longue série de courants d'induction, lesquels sont ordinairement le plus puissant irritant pour le nerf, qui constitue une *irritation négative* supprimant les contractions. Il suffit de mettre le nerf moteur dans les conditions favorables à l'expérience.

On prépare le nerf sciatique et le plexus lombaire d'une grenouille, tuée par la destruction de la moelle épinière, et on dispose le muscle gastrocnémien avec son tendon d'une manière quelconque pour faire écrire ou marquer ses contractions. Les courants modérés ou relativement forts d'une machine d'induction parcourent le plexus lombaire. Au commencement il y a une forte contraction tétanique uniforme de toute la jambe; ensuite cette contraction n'est plus uniforme mais tremblante, comme composée d'une série très-rapide de secousses. Lorsque l'action du courant continue toujours, le tétanos cesse et on ne voit dans les muscles qu'une série de mouvements fibrillaires. On laisse toujours agir le courant

d'induction et après quelque temps la jambe reste flasque et sans mouvements visibles. On peut la plier, l'étendre, il n'y a plus de trace de rigidité. Le nerf trop longtemps irrité *parait* avoir perdu toute influence sur les muscles. On peut montrer facilement qu'il n'en est pas ainsi. Il suffit d'interrompre le courant primaire ou secondaire de l'appareil d'induction pendant un moment, pendant un $^1/_6$ ou même un $^1/_{10}$ de seconde et de le rétablir pour voir un nouveau mouvement, une secousse tétanique de la jambe au moment de l'entrée du courant; mais *une seule* secousse, et après la jambe reste de nouveau immobile et sans tremblement, tant que le courant passe uniformément; mais toutes les fois qu'on interrompt et rétablit le courant, même à des intervalles très-rapprochés, on voit reparaître la secousse au moment de l'entrée. Ce repos absolu après la secousse initiale ne peut pas être l'expression de l'épuisement par la secousse, parce que cet épuisement devrait avoir une durée déterminée, après laquelle la secousse devrait se montrer de nouveau (parce que l'irritation se continue toujours). Mais on peut donner au repos une durée *indéterminée*, ou renouveler les secousses dans des intervalles très-courts d'une durée arbitraire. Quelle est donc l'action du courant sur le nerf dans les intervalles des secousses? Pour répondre à cette question et pour savoir si la continuation périphérique du nerf est influencée par le courant d'induction pendant qu'il ne se produit plus de mouvement, on fixe au nerf, à une certaine distance des pôles de la bobine d'induction, deux autres électrodes qui viennent d'une pile très-faible dont le courant avant d'arriver au nerf parcourt une forte résistance, et un interrupteur automatique qui, à l'aide d'un pendule ou d'un mouvement d'horlogerie,

produit une fermeture momentanée à des intervalles réguliers qui ne doivent pas être inférieurs à deux secondes. On suspend provisoirement le courant d'induction, qui agit sur la partie supérieure du nerf, et on met en mouvement l'interrupteur. A chaque fermeture du courant de la pile correspond une contraction du muscle de la grenouille. Immédiatement après une de ces contractions on ferme de nouveau le circuit d'induction, sans rien changer au courant de la pile. A la première secousse d'induction succède le mouvement du muscle, qui après ce mouvement reste immobile, bien que son nerf dans une partie plus périphérique soit parcouru par le courant résultant des fermetures periodiques de la pile. Ces fermetures paraissent avoir perdu toute influence. On fait une nouvelle interruption du courant d'introduction et immédiatement ou très-peu de temps après, la pile recommence à produire des contractions jusqu'à ce qu'elles soient encore suspendues par une nouvelle irritation, que l'induction produit dans la partie supérieure du nerf. Il est évident que pendant que l'induction empêche les mouvements, l'irritation de la partie supérieure du nerf agit toujours sur la partie inférieure jusqu'au muscle, mais elle agit comme une *irritation négative*. Elle est deveuue négative au moins par rapport aux irritations de la pile, dont elle neutralise l'effet. Nous nous sommes servi ordinairement d'un courant descendant de la pile, mais nous nous sommes persuadé qu'on peut aussi se servir du courant ascendant donnant essentiellement le même effet.

Lorsqu'on laisse continuer pendant longtemps l'action du courant d'induction sur la partie centrale du nerf, la portion intrapolaire doit s'épuiser, se *désorganiser* par la

forte irritation, et elle perd son action sur la partie périphérique du nerf. Si dans cette période on renouvelle l'irritation périodique du sciatique avec la pile, les contractions ne manquent plus, quoiqu'un courant induit très-énergique parcoure la partie supérieure du nerf et les contractions n'offrent généralement (c'est-à-dire toujours quand on a pu éviter une forte action unipolaire) point de différence, soit que l'induction agisse soit qu'elle soit suspendue.

Depuis que j'observai ces faits pour la première fois, — c'est-à-dire il y a plus de vingt-cinq ans, — j'ai reconnu leur importance pour la théorie des nerfs arrestateurs. C'est même pour donner aux mouvements du muscle de la grenouille plus de ressemblance avec les contractions du cœur, et pour faire ressortir davantage l'analogie qui existe entre l'arrêt du cœur et l'arrêt du gastrocnémien, que j'ai choisi pour ce dernier l'excitation périodique par l'interrupteur automatique. J'ai parlé de ces expériences en 1858 dans mon livre sur la physiologie du système nerveux (l. c. p. 188), où j'ai donné quelques détails auxquels je renvoie le lecteur, pour ne pas donner ici un extrait de mon livre. J'insisterai seulement sur ce qu'il faut qu'il existe une certaine relation entre l'intensité des deux irritations, pour que, dans les conditions données, le plexus lombaire agisse comme nerf arrestateur de l'irritation galvanique du sciatique. L'irritation galvanique doit être *relativement* très-faible si son effet peut être entièrement éteint par la forte irritation du plexus lombaire. Si l'irritation par l'induction est relativement faible, ou le courant de la pile trop fort, les contractions périodiques ne cessent pas entièrement mais sont encore très-affaiblies. Si l'induc-

tion agit *encore* plus faiblement on arrive à un point où elle n'affaiblit plus, même où elle augmente l'effet de la pile, et dans ce cas les contractions périodiques sont plus fortes pendant le passage du courant d'induction par la partie supérieure du nerf.

Pflüger (*Du Bois und Reicherts Archiv*, 1859, p. 25), dans un mémoire qui tend à prouver la nature spécifique des nerfs arrestateurs, cherche à critiquer mon interprétation de cette expérience. Il trouve que la disposition que je donne aux appareils peut produire des courants unipolaires dans toute la longueur du nerf. Il est vrai que quelquefois les courants unipolaires ne pouvaient pas être évités; mais il résulte déjà des faits que j'avais décrits que ces courants ne pouvaient pas avoir une influence sur les effets observés. Il est inutile de prouver cette thèse, parce que Pflüger lui-même, en répétant mes expériences avec des précautions qu'il croit suffisantes contre les courants unipolaires des électrodes d'induction, est arrivé aux mêmes résultats que j'avais obtenus par ma méthode. Il suffit d'ajouter que, depuis cette époque, j'ai répété ces expériences avec toutes les précautions connues, et que je suis arrivé aux mêmes résultats en me servant, au lieu de courants d'induction, de courants d'une pile de six éléments charbon-zinc sans diaphragme qui ont été très-rapidement interrompus et renversés, imitant ainsi avec la pile la forme des courants d'induction ordinaires. Je me suis servi à cet effet d'un instrument que *Valentin* a décrit sous le nom de « hämmernder Stromwender. » D'ailleurs tout a été bien isolé sur des lames de caoutchouc durci, et la longueur du circuit de la pile, qui doit produire l'irritation périodique, a été très-considérablement réduite. La pile avec le métronome, qui servait d'in-

terrupteur, a été bien isolée des autres appareils et de la table. La longueur de la partie intrapolaire du nerf, qui recevait le courant rapidement interrompu, était réduite à 1 ou 2 millimètres. Avec toutes ces précautions je ne crois pas avoir détruit tout courant unipolaire, mais je me suis assuré qu'il n'y en avait plus de traces reconnaissables. Le résultat de l'expérience est resté toujours le même.

Ce n'est donc pas sur les courants unipolaires sur lesquels Pflüger pouvait appuyer son opposition ; mais il cherche à démontrer que mon expérience s'explique « très-simplement par l'épuisement du nerf, et que mon interprétation est « insoutenable sous tous les rapports » (l. c. p. 29). Voyons donc comment, selon Pflüger, j'ai mérité cette critique sévère.

Les courants forts d'induction qui parcourent la partie supérieure du nerf doivent, dit Pflüger, *épuiser* le nerf et en partie le muscle. L'épuisement du nerf est démontré parce que enfin le tétanos cesse et le muscle reste immobile malgré l'action permanente de l'irritation. Cet épuisement n'agit pas seulement sur la partie intrapolaire du nerf mais, selon Pflüger, sur toute sa partie périphérique dont l'excitabilité doit être fortement diminuée. Il suffit, d'après mes expériences confirmées par Pflüger, d'une interruption momentanée de l'irritation épuisante pour que, même dans la partie directement irritée du nerf, l'excitabilité se rétablisse rapidement, de manière que, après l'interruption de très-courte durée (d'une fraction d'une seconde), un tétanos se montre quand on rétablit le courant d'induction. Il n'est pas étonnant qu'il y ait des irritations faibles qui, appliquées sur la partie inférieure du nerf, ne produisent point d'effet parce que cette partie inférieure a

perdu beaucoup de son excitabilité par l'épuisement, mais elles recommencent à agir très-peu de temps après que l'interruption de l'irritation forte de la partie supérieure rétablit l'excitabilité dans tout le tronc nerveux. Tout ceci est très-clair, bien que cette « explication » ne se rapporte qu'à une partie des faits observés dans nos expériences, et non à quelques autres particularités dont Pflüger ne parle pas et sur lesquels nous aurons bientôt à diriger l'attention du lecteur. Mais examinons jusqu'à quel point cette explication, qui résume la partie essentielle de celle de Pflüger et contre laquelle nous ne voulons faire aucune objection directe, démontre que notre interprétation est insoutenable.

Pflüger insiste sur l'*épuisement*, sans donner aucune définition, aucune explication de cette expression. Nous sommes d'accord qu'il ne peut pas s'agir d'un épuisement par l'*activité* du nerf et du muscle, parce que 1° l'activité peut se réduire à une seule contraction après le rétablissement du courant, tandis que la durée de l'épuisement est uniquement déterminée par la durée de l'irritation d'induction et peut être prolongée et très-abrégée avec celle-ci.

2° J'ai vu des cas où, après une longue durée de l'expérience, chaque rétablissement de l'induction n'était suivi que d'une très-faible contraction, qui n'était par exemple que de 1 millim. dans le muscle gastrocnémien. Après cette contraction il y avait repos complet, quoique le courant interrompu de la pile agît sur la partie inférieure du nerf. Cette partie inférieure avait donc subi ce que Pflüger appelle l'*épuisement*. Après la suspension du courant d'induction le courant de la pile a produit un plus fort raccourcissement, par exemple de 4 millimètres,

et l'a produit toutes les fois que le courant entrait de nouveau. L'activité plus grande de la partie inférieure du nerf était donc suivie d'un *épuisement* infiniment moins grand.

Il s'agit donc d'un épuisement produit par l'irritation. Cet épuisement ne peut pas seulement se produire au premier moment de l'entrée de l'irritation d'induction, mais doit se produire de nouveau à chaque moment de sa durée, même si on la laisse agir pendant une demi-heure et plus longtemps, jusqu'à la destruction locale du nerf. Car s'il ne partait pas continuellement une influence épuisante, ou une influence maintenant l'épuisement de la partie supérieure irritée vers la partie inférieure du nerf, pendant toute la durée de l'induction, la partie inférieure du nerf quelques moments après le commencement de l'induction, quand l'épuisement existe, serait dans les mêmes conditions que si la cause de l'épuisement avait cessé, parce qu'elle n'agit plus sur lui, et le nerf pendant la durée de l'induction devrait se rétablir comme il le fait un moment après l'interruption de l'induction, ou pendant la destruction de la partie supérieure.

Cette influence doit donc se produire pendant tout le temps de l'induction, et par l'action du courant, dans la partie intrapolaire du nerf, et doit de là se propager de proche en proche vers le muscle.

Cette propagation de proche en proche de l'effet de l'irritation locale d'un nerf jusqu'au muscle n'est autre chose que ce qu'on appelle *conduction, transmission nerveuse*. Elle cesse quand le nerf est désorganisé entre les pôles du courant d'induction, et alors la partie périphé-

rique du nerf se rétablit malgré la continuation permanente de l'induction.

Le nerf donc, qui sous l'influence de la forte induction paraît inactif et non excitable, est constamment excité, constamment actif, il transmet constamment une influence vers la périphérie. Mais quelle est l'influence transmise dans ce nerf moteur dont le muscle ne montre aucune trace de mouvement?

Il transmet à sa périphérie et au tronc un changement moléculaire que nous ne connaissons pas, mais dont nous connaissons un des effets. Il transmet un changement qui *empêche* le nerf d'obéir à une excitation galvanique relativement faible et de produire des mouvements musculaires sous l'influence de cette excitation.

Il transmet donc ce que nous appelons aujourd'hui une *irritation négative*.

Et sous ce rapport *phénoménal* le nerf moteur, dans les conditions que nous lui avons imposées et sous l'influence des courants d'induction, montre un effet analogue à l'effet du pneumogastrique sur les mouvements du cœur, à l'effet des nerfs arrestateurs. Il détermine une influence *arrestatrice*.

Voilà tout ce que nous avons demandé, tout ce que nous avons voulu et ce que nous voulons prouver par cette expérience. Nos conclusions se montrent logiques et inévitables, même si nous admettons l'*explication* de Pflüger, par laquelle il a tenté de nous réfuter. Au fond la prétendue explication de Pflüger n'est qu'une formule, dont l'inanité se cache derrière le terme d'*épuisement*. Dès que nous cherchons à en fixer le sens, la résolution de la formule nous conduit sur le terrain sur lequel nous nous

trouvions déjà avant que Pflüger eût tenté de nous *éclairer sur le sens de nos expériences* (Comp. Pflüger, l. c., p. 25).

Mais, hâtons-nous de le dire, la conclusion que nous avons tirée en 1858 et déjà en 1848 de ces expériences et de quelques autres, a été modifiée par les faits qui, depuis, sont venus à notre connaissance. Alors nous avons conclu que l'action des nerfs arrestateurs est analogue à celle des nerfs épuisés par l'irritation électrique. Aujourd'hui nous concluons que l'action des nerfs épuisés montre une analogie avec celle des nerfs arrestateurs. Nous justifierons cette conclusion dans la continuation de ces mémoires.

Dans ces expériences je me suis toujours servi, pour irriter la partie inférieure du sciatique, de courants interrompus et assez faibles de la pile, qui ne produisent pas une irritation maximale. En agissant ainsi je n'avais pas besoin de très-forts courants d'induction pour exercer l'influence arrestatrice sur la partie supérieure du nerf. Car on se souvient qu'il doit toujours exister une certaine relation entre l'intensité des courants qui irritent et qui arrêtent, et que si le courant arrestateur est trop faible on a une *augmentation* au lieu d'un arrêt. Les courants faibles de la pile permettent en même temps d'observer cette augmentation si elle existe et de conserver pendant longtemps les forces du nerf, en nous dispensant de choisir des courants induits trop intenses.

Pflüger, dans la *dernière* série de ses expériences, se sert comme irritant non comme moi de courants faibles galvaniques, mais d'un autre courant induit qui est assez fort pour produire une tétanisation, c'est-à-dire une excitation plus que maximale. Les résultats d'une telle modification de l'expérience pourraient être très-intéressants,

mais il est évident qu'on n'a pas le droit de les identifier avec le résultat de mes propres expériences. Pflüger ne paraît pas être de cet avis. A la fin de sa critique, en ne tenant compte que de ses dernières expériences dont il généralise trop le résultat, il arrive à une conclusion que je ne crois nullement applicable aux expériences faites d'après ma méthode et avec des courants d'induction qui n'ont pas une intensité excessive.

Mais cette conclusion, de même qu'une autre objection de Pflüger qui se rapporte à une question de détail, ne nous intéresse pas ici. Je crois avoir suffisamment défendu mon théorème de l'irritation négative contre une objection apparente qui s'adresse à une expérience que je crois être une des plus importantes qu'appuie ma manière de voir. Je ne serais pas même revenu ici sur ce mémoire de Pflüger, publié depuis près de vingt ans, si, malgré une réponse sommaire que j'avais déjà donnée dans un journal physiologique de 1859, les conclusions de Pflüger n'avaient pas été reproduites dans quelques ouvrages modernes, par exemple dans le Traité de physiologie de *Funke*, comme des arguments combattant ma manière de voir.

Nous aurons maintenant, en continuant ces recherches, à nous occuper de la série très-intéressante de faits que Valentin a appelés les *interférences des irritations galvaniques.* (*A suivre.*)

---

# BULLETIN SCIENTIFIQUE.

## PHYSIQUE.

E. Yung. Étude sur les poussières cosmiques. *(Bullet. de la Société vaudoise des sciences naturelles*, 2me sér., vol. XIV, n° 77, p. 493.)

Les poussières qui flottent dans notre atmosphère et tombent partout à la surface du globe se divisent suivant leur provenance en deux catégories bien distinctes; les unes composées d'éléments organiques et inorganiques de toutes natures proviennent de la terre et sont enlevées du sol par les vents ou par d'autres causes, les autres nous arrivent des espaces interplanétaires, et sont de véritables aérolithes microscopiques que la terre ramasse sur sa route; les premières sont les poussières *telluriques*, les secondes, les poussières *cosmiques*. Divers auteurs ont reconnu la présence de ces dernières dans notre atmosphère et les ont étudiées. C'est Ehrenberg qui paraît avoir eu le premier l'idée d'attribuer une origine cosmique au fer répandu en poussière dans l'air M. Nordenskjöld reprit et confirma cette manière de voir à l'aide de ses observations sur les poussières de fer qu'il recueillit sur les neiges polaires comme dans la neige et la grêle des environs de Stockholm. Plus récemment encore, M. G. Tissandier a observé des particules de fer météoritique dans les poussières déposées par les vents dans des monu-

ments élevés (tours de Notre-Dame de Paris) ou obtenues par le lavage d'une certaine quantité d'air dans un appareil à boules de Liebig. Ces particules de fer météoritique se séparent facilement du reste des poussières auxquelles elles sont mélangées, à l'aide d'un aimant et sont de tous points comparables à celles que l'on obtient en brûlant dans la flamme d'hydrogène du fer en poudre impalpable ou aussi à l'oxyde des battitures.

M. Yung a repris cet intéressant sujet dans le travail dont nous rendons compte ici. Il a fait pendant les années 1875 et 1876 quinze dosages de la matière solide contenue dans des neiges recueillies à différentes altitudes : A Montreux (425$^{m}$), aux Avants (979$^{m}$) et à l'hospice du Grand S$^{t}$-Bernard (2490$^{m}$). Les analyses ont toujours porté sur une couche moyenne de neige distante au moins de 1 à 2 centimètres du sol et de 1 centimètre de la surface, couche qu'on peut considérer comme ne renfermant en matière minérale que ce que l'atmosphère lui a abandonné. Recueillie dans des ballons de verre, cette neige était ensuite évaporée dans une capsule de porcelaine. Comme on pouvait le prévoir, la proportion de matière solide a été plus forte dans la neige recueillie à Montreux que dans celle qui provenait de la station plus élevée des Avants, ainsi le 18 mars 1876 la neige de Montreux s'est trouvée renfermer 92, 8 milligram. par litre de matière solide, celle des Avants 42, 8 seulement.

Dans tous les résidus ainsi obtenus, la présence du fer a été constatée d'une manière incontestable. Ce métal n'a point pu toutefois être dosé; seulement la proportion obtenue dans chaque cas a été évaluée approximativement à l'aide de l'intensité de la coloration du sulfocyanure de potassium dans une même quantité de dissolution acide.

M. Yung n'a pas pu trouver dans la neige de ces différentes stations le fer en globules tel que M. Tissandier l'a observé dans la neige recueillie au col des Fours sur le flanc du Mont-Blanc et dans les poussières des tours de Notre-

Dame. Il y a toutefois reconnu des particules irrégulières attirables à l'aimant, ainsi que des cristallisations de sels ammoniacaux et de petits cubes de chlorure de sodium. Il compte du reste continuer l'étude de ce sujet et chercher en particulier si la plus ou moins grande abondance de ces pluies de poussières météoritiques est liée aux périodes de plus grande fréquence des étoiles filantes.

L'auteur a fait en outre des préparations microscopiques des particules de fer recueillies dans les poussières des clochers de diverses églises, Notre-Dame de Paris, S^t^-Pierre de Genève, églises de Vallorbes, de Lausanne, de Varsovie, de Samara, etc. Examinées au microscope, ces particules ferrugineuses présentent les formes les plus diverses, parmi lesquelles se distingue immédiatement la forme globulaire avec ses aspérites et ses échancrures. Quelques granules ressemblent à de petites bombes volcaniques. Leur grosseur varie beaucoup dans une même poussière et en général elles sont moins unies et moins parfaitement sphériques que celles obtenues par voie de fusion dans une flamme d'hydrogène; souvent leur contour est raboteux et au lieu d'une seule aspérité en présentent deux ou trois.

Les conclusions que M. Yung tire dès à présent de ses recherches sont les suivantes:

1° Le fer existe dans toutes les poussières accumulées par les vents depuis des siècles dans les clochers d'églises;

2° Ce fer flottant dans l'atmosphère est entraîné dans sa chute par la neige où l'auteur l'a toujours rencontré;

3° Sa forme globulaire indique qu'il a été porté à une haute température;

4° Les faits tendent à prouver son origine céleste;

5° Il joue un rôle important dans la physique du globe, mais la science, afin de s'en faire une juste idée, doit viser à évaluer quantitativement le phénomène et l'étudier dans ses variations.

---

## CHIMIE

R. Fittig. Traité de chimie organique, d'après Wöhler (traduction de Ch. de la Harpe et Fr. Reverdin).

Nous ne saurions mieux faire en annonçant ce nouvel ouvrage, que de transcrire ici la préface de M. le professeur Würtz.

La chimie, depuis trente ans, a été simplifiée dans sa méthode, perfectionnée dans ses théories, mais tellement agrandie par l'abondance des faits accumulés, que ses richesses sont devenues un embarras. Ceci s'applique surtout à la chimie organique, c'est-à-dire à la chimie des combinaisons du carbone. Celles qui sont déjà décrites sont extrêmement nombreuses; celles qu'on pourra découvrir sont innombrables. C'est donc un domaine immense qu'il est nécessaire de déblayer et de limiter, pour le rendre abordable à ceux qui débutent et accessible, dans toutes ses parties, à ceux qui sont plus avancés. L'auteur du présent ouvrage, auquel des travaux importants ont valu une autorité incontestable, me semble s'être acquitté de cette tâche avec succès. Son livre se distingue non-seulement par le choix des matériaux, par l'abondance et l'exactitude des indications, mais encore par le soin qui a été apporté dans le classement des espèces chimiques, c'est-à-dire par la méthode.

Les composés décrits ont été répartis en trois tribus, dont la première comprend les dérivés du gaz des marais; la seconde, les composés aromatiques; la troisième, les corps dont la constitution est encore inconnue.

L'auteur entend par dérivés du gaz des marais les composés qui font partie de la « série grasse » : les hydrocarbures qui en forment la base peuvent être envisagés, en effet,

comme des dérivés du gaz des marais. Ces hydrocarbures appartiennent à diverses séries : ils sont plus ou moins saturés d'hydrogène. A chacune de ces séries correspondent des alcools, des acides, des aldéhydes, des acétones, etc. Tous ces corps, qu'on peut envisager comme dérivés d'hydrocarbures correspondants, se rattachent les uns aux autres par des liens de parenté. Ils forment une famille. L'auteur les réunit dans un même « groupe » et les décrit ensemble. En cela il a appliqué un principe de classification connu et très-rationnel. A partir du sixième groupe il y a dérogé quelque peu, avec raison peut-être, en plaçant à la tête des groupes, non plus des hydrocarbures mais des alcools polyatomiques. Lorsque la description de toutes ces séries est épuisée, M. Fittig passe à l'étude de deux groupes de corps, qui auraient pu trouver place, à la rigueur, parmi les dérivés du gaz des marais : ce sont les combinaisons du cyanogène qui forment le onzième groupe et les dérivés de l'acide carbonique qui forment le douzième.

Les mêmes idées ont prévalu dans la classification des composés aromatiques, où les divers groupes sont constitués de la manière la plus naturelle, par des corps qui se rattachent à des hydrocarbures importants, tels que la benzine (benzol), le styrolène (styrol), le térébenthène, le diphényle, la naphtaline, le phénanthrène, l'anthracène. De ces carbures d'hydrogène dérivent des phénols, des alcools, des quinones, des acides, des aldéhydes, des acétones, et l'on sait de combien d'espèces intéressantes et utiles les groupes dont il s'agit se sont enrichis, dans ces dernières années.

Les corps dont la constitution est encore inconnue ou obscure, tels que glucosides complexes, alcaloïdes naturels, principes amers et colorants, matières protéiques, sont décrits, dans des chapitres spéciaux à la fin de l'ouvrage, qui se termine par quelques notions de chimie biologique. Les composés complexes dont il s'agit sont les « corps à séries » de Gerhardt ; mais combien la liste en est diminuée depuis

l'époque où a paru le mémorable « Traité de Chimie organique, » et comme beaucoup de corps auxquels Gerhardt avait assigné une place dans son système sont mieux placés et mieux entourés aujourd'hui! Ce sont les études relatives à la constitution des corps qui ont permis de réaliser ces progrès. Ces derniers découlent des idées modernes sur l'atomicité ou valence des atomes et sur leurs rapports mutuels dans les composés chimiques. Et quelle lumière ces idées ont répandue sur la question des isoméries, quelle sécurité elles ont apportée dans la critique des faits, quel appui solide elles ont fourni aux travailleurs, pour les prévisions théoriques qui mènent aux découvertes! Elles seront bonnes aussi longtemps qu'elles se montreront fécondes. Tout cela est indiqué dans l'ouvrage de M. Fittig. La constitution des corps est exprimée en formules développées qui mettent en évidence les relations réciproques des atomes constituants, et qui donnent en même temps la clef des modes de formation des corps, de leurs propriétés, de leurs réactions.

Dans les descriptions, l'auteur est sobre, exact. Il s'attache surtout à donner la caractéristique des corps, en peu de mots précis, comme on le fait dans les sciences naturelles pour décrire les espèces. Cette concision lui a permis de condenser dans un seul volume un nombre vraiment extraordinaire d'informations utiles. La préparation des corps est indiquée, mais d'une manière sommaire, comme il convient de le faire dans un livre d'étude. Dans la forme où ce dernier est présenté au public, il a conservé, grâce au talent des traducteurs, MM. de la Harpe et Reverdin, les qualités qui le distinguent. Je suis convaincu qu'il rendra service à toutes les personnes qui s'occupent de chimie organique.

---

TH. DIETL et V. MERZ. DÉRIVÉS DE LA NAPHTOQUINONE. (*Berichte d. d. chem. Ges.*, X., 2034. Zurich.)

L'oxynaphtoquinone s'obtient en faisant bouillir du *diimidonaphtol* ou son chlorhydrate avec de la soude ; en dissolvant dans l'acide acétique et traitant par le brôme, ces chimistes obtiennent un dérivé monobrômé, et si l'on a ajouté de l'iode, il se forme des corps renfermant plus d'un atome de brôme. Par l'acide nitrique on obtient des dérivés nitrés dont l'un cristallise bien ainsi que ses sels.

---

V. MEYER. DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DES VAPEURS. (*Berichte d. d. ch. Ges.*, X, 2068. Zurich.)

Dans cet article M. Meyer étend sa méthode, dont nous avons déjà parlé [1], à la détermination de la densité des vapeurs de corps se volatilisant avant 440°; au lieu de se servir d'une ampoule remplie d'alliage de Wood, il se sert de mercure, et au lieu d'un creuset renfermant du soufre, il se sert d'un tube renfermant différents liquides, eau, aniline, benzoate d'amyle, diphénylamine, suivant la température à laquelle la substance soumise à l'expérience se volatilise.

---

M. KNECHT. POIDS MOLÉCULAIRES DE QUELQUES COMBINAISONS. (*Berichte*, X, 2073. Zurich.)

M. Knecht a trouvé que le rétène avait bien la formule $C_{18} H_{18}$, il a trouvé pour la densité de vapeurs de ce corps 8,28 au lieu de 8,10 que réclame la théorie.

[1] *Archives*, Novembre 1876, LVII, p. 237.

| | *calculé* | *trouvé* |
|---|---|---|
| Pour la fluorène | 5,78 | 5,77 |
| — stilbène | 6,23 | 6,42 |
| — chrysène | 7,89 | 7,95 |

---

V. Meyer. Introduction de radicaux azotés dans des corps de la série grasse. (*Berichte*, X, 2075. Zurich.)

En faisant agir une dissolution de nitrate de diazobenzol, sur les dérivés acétylés de l'éther acétique en dissolution alcaline et en ajoutant une dissolution titrée de nitrite de potassium, V. Meyer obtient un acide fusible à 154°-155° ayant pour formule $C_{10}\,H_{10}\,N_2\,O_3$, la réaction est celle-ci :

$$C_6\,H_5\,N_2\,NO_3 + \begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ CO \\ | \\ CHK \\ | \\ COOC_2H_5 \end{array} + H_2O = KNO_3 + C_2\,H_5OH$$

$$+ C_6\,H_5\,N_2 - \begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ CO \\ | \\ CH \\ | \\ COOH \end{array}$$

En faisant agir de l'acide nitreux sur le dérivé acétylé, de l'éther acétique, Meyer obtient un nouvel acide $C_6H_9O_4N$, d'après la réaction

$$C_6\,H_{10}\,O_3 + HNO_2 = H_2\,O + C_6\,H_9\,O_4\,N$$

c'est une huile qui se décompose à la distillation, plus lourde que l'eau, soluble dans les alcalis avec une couleur jaune

intense; par la cuisson avec HCl on obtient un corps cristallin soluble dans l'éther.

---

J. Züblin. Sur le nitrobutane normal. (*Berichte*, X, 2083. Zurich.)

On obtient ce corps en faisant agir du nitrate d'argent sur l'iodure du carbure, c'est un liquide plus léger que l'eau, bouillant à 151°-152°. Sa vapeur n'est pas explosible, c'est un acide faible. Réduit par l'étain et l'acide clorhydrique, le corps nitré se transforme en butylamine normale dont le chlorure réduit avec facilité les dissolutions alcalines des sels de cuivre, d'argent et de mercure. Le nitrobutane traité à 140° par HCl se sépare en acide butirique normal et en hydroxylamine, d'après la réaction

$$\begin{array}{l} C_3\,H_7 + HNH = H_2NOH + C_3\,H_7\,COOH \\ \quad | \\ C\,H_2 \\ \quad \diagdown NO \\ \qquad \diagdown \\ \qquad\quad O \end{array}$$

Par l'acide nitreux le nitrobutane donne un acide nitrolique. Enfin Züblin a encore préparé le bibromnitrobutane, le binitrobutane normal, une huile qui commence à distiller vers 190° en se décomposant, ainsi que le dérivé bromé de ce corps qui a pour formule $C_3\,H_7\,CBr\,(NO_2)_2$.

---

## BOTANIQUE.

### Rapport sur le jardin expérimental de M. Jordan.

Le cahier du *Bulletin de la Société botanique de France* relatif à la session tenue à Lyon, en 1876, vient de paraître.

Il renferme, au milieu de récits d'herborisations d'un intérêt local, un rapport de M. Vivien-Morel sur les cultures expérimentales de M. Jordan, objet qui touche aux questions difficiles de la science et sur lequel on manque, jusqu'à présent, de renseignements détaillés. Peu de botanistes ont vu et aucun, probablement, si ce n'est le propriétaire, n'a examiné de près ces cultures dont on parle depuis longtemps. C'est donc, en quelque sorte, un événement que la visite de plusieurs des membres de la Société botanique au jardin de la cité Lafayette, le 6 juillet 1876. Les détails contenus dans le rapport sont très-dignes d'attention, car tout en réservant son opinion sur les méthodes et les raisonnements, chacun est bien aise de savoir comment les expériences sont conduites.

« Ce n'est pas chose commune, dit M. Vivien-Morel, que soixante mille plantes réunies dans un espace restreint, représentant presque tous les genres de Phanérogames de France en nombreux exemplaires, et provenant des localités les plus diverses, depuis les bords de la mer, jusqu'aux plus hauts sommets des Vosges, des Alpes, du Jura et des Pyrénées. Tout cela parfaitement en ordre, étiqueté, numéroté et rapproché pour juger rapidement des différences entre les espèces affines, dont le plus grand nombre est cultivé depuis de longues années. »

Rappelons ici, pour l'intelligence du texte, que M. Jordan ne s'est pas servi des termes usités depuis Linné : espèces, races, variétés, sous-variétés, variations, qui paraissent répondre à toutes les idées et tous les faits possibles. Les formes qu'il appelle *espèces affines* sont des formes voisines, persistantes dans la culture et même héréditaires. Nous n'avons pas lu dans le rapport qu'elles aient été soumises à la grande épreuve de savoir si elles se fécondent mutuellement et donnent des produits fertiles. C'est cependant là ce qui décide si un groupe de formes voisines et héréditaires doit être appelé

race ou espèce. En cas de fécondation et fécondité ce sont des espèces, dans le sens linnéen ; en cas contraire ce sont des races d'une seule espèce. Par exemple, dans le groupe naturel le plus connu des deux règnes, le genre *Homo*, le peuple juif conserve, depuis des milliers d'années, certains traits malgré tous les changements de climat et de régime, mais les individus qui le composent peuvent s'unir avec d'autres et avoir des descendants, ce qui fait que personne n'a l'idée de les appeler une espèce [1]. Entre une fécondation facile et continue et la non-fécondation ou non-continuité il n'existe guère de milieu, donc l'expression d'espèce affine ne paraît pas motivée. Nous ne voulons pas nous étendre sur les principes de M. Jordan. On les connaît bien plus que son jardin, et nous préférons donner quelques détails sur celui-ci d'après le rapport que nous avons sous les yeux.

Sa surface est d'un hectare seulement. Il est divisé en carrés, qui forment 400 plate-bandes. La plupart des individus cultivés sont dans des pots, dont la terre a été calcinée avant d'introduire les plantes ou les graines, afin d'éviter les mauvaises herbes. On tient à part, pendant un an, les plantes envoyées de diverses localités, pour qu'elles reprennent bien ; ensuite elles sont arrangées de la manière suivante. Les formes de la même espèce, ou du même genre, s'il est monotype, ou de la même section, s'il est divisé en sections, sont rapprochées, savoir : 1° celles de la même localité, 2° les semis de ces formes, 3° les formes des localités les plus voisines, en commençant par celles des départements voisins et s'éloignant ensuite. Chaque pot contenant sa plante est pourvu d'un numéro et d'une étiquette. Un registre topographique permettrait de rétablir

[1] M. de Quatrefages, dans son volume récent sur l'*Espèce humaine*, insiste sur la facilité et la fécondité des croisements entre les hommes de toutes les couleurs et il en tire la conclusion qu'ils forment une seule espèce.

l'ordre en cas de perte, et un autre registre contient l'indication des origines et des dates d'introduction.

Par exemple, « une centaine de pots présentent les formes les plus curieuses du *Saxifraga oppositifolia* L. On ne se doute guère, dit M. V. M., lorsqu'on récolte cette plante dans ses stations naturelles, sur les plus hauts sommets du Jura, des Alpes, de l'Auvergne et des Pyrénées, de l'étonnante diversité de formes dont cette espèce linnéenne est la réunion ; c'est pourtant ce que l'examen de la collection démontre avec la dernière évidence. » D'autres groupes de saxifrages, dont on fait ordinairement des sections (*Aizoon*, *Muscaria*, etc.), sont représentés par un grand nombre d'individus de diverses localités françaises, et vu leur permanence dans la culture sont des espèces, en partie, nouvelles, ou plutôt des espèces affines de M. Jordan. Le *Betonica officinalis* L. « comprend de nombreuses formes, la plupart très-différentes. » L'auteur du rapport cite neuf espèces affines que MM. Jordan et Foureau ont publiées d'après ces formes, sans nous dire si elles n'ont pas des transitions qui motiveraient une réunion et si elles sont impropres à se féconder mutuellement. Les *Santolina*, les *Sempervivum* (qui occupent 4000 pots !), les *Hyssopus*, *Galium*, *Aira*, *Taraxacum*, etc., sont représentés aussi par un grand nombre de formes. Quelques arbres ou arbustes, comme les chênes, les vignes, sont en pleine terre, mais il aurait fallu plus de place pour en augmenter le nombre.

C'est assurément une chose admirable que ces cultures de M. Jordan ! Elles montrent la multiplicité de formes voisines, qui seraient plus nombreuses encore si l'on avait fait venir des pieds de pays autres que la France. Elles constatent aussi la durée de ces formes sous les conditions qui leur sont imposées.

L'auteur du rapport en déduit comme une nouveauté (p. CLX) que les anciennes espèces sont des groupes, mais si l'on compare plusieurs des espèces de Linné avec les phrases

de Tournefort ou de Bauhin qu'il leur rapporte, on ne peut pas douter que le groupe appelé espèce par l'illustre Suédois ne fut, dans sa manière de voir, une association de formes voisines. Les cultures de M. Jordan pourraient servir à constituer mieux qu'on ne l'a fait jusqu'à présent ces groupes spécifiques linnéens, en tenant compte des transitions entre formes voisines qu'on ne saurait trop observer. S'il était possible d'ajouter des expériences sur la fécondation mutuelle de ces formes et la fertilité de leurs produits, les espèces seraient constituées au moyen des deux bases de la forme et de l'affinité des organes intérieurs qui se mélangent dans la fécondation. Malheureusement ce sont des expériences délicates, qui exigent des procédés particuliers de culture, et M. Jordan a déployé une si grande persévérance dans l'étude des formes que lui demander une autre série de travaux d'un genre difficile serait une exigence vraiment déplacée.

Alph. DC.

---

ERRATUM

*Page 212, figure de droite.* L'affleurement du terrain glaciaire *(GL. i)* sur l'escarpement est seul visible ; son élargissement entre l'alluvion ancienne et le trias est hypothétique.

---

# OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

## FAITES A L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

sous la direction de

**M. le prof. E. PLANTAMOUR**

PENDANT LE MOIS DE JANVIER 1878.

---

Le 1er, forte gelée blanche le matin.
2, idem.
3, gelée blanche le matin.
5, idem.
6, brouillard de 10 h. à 1 h.
7, forte gelée blanche le matin.
8, forte gelée à 10 h. soir.
9, neige de midi à 6 h.; hauteur de la couche 15mm.
10 et 11, forte bise tout le jour.
16, brouillard le matin.
17, forte gelée blanche à 10 h. soir.
18, léger brouillard le matin.
20, brouillard le matin et le soir.
21, forte gelée blanche le matin.
22, faible gelée blanche le matin; halo solaire partiel à 10 h.
24, violent vent du SSO. tout le jour, surtout le soir, avec une forte pluie.
27, brouillard le soir.
29, neige dans la nuit du 28 au 29; hauteur de la couche 15mm.

*Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.*

| MAXIMUM. | mm | MINIMUM. | mm |
|---|---|---|---|
| Le 2 à 10 h. matin | 735,59 | Le 4 à 2 h. après midi | 729,92 |
| 5 à 10 h. matin | 732,13 | 8 à 8 h. matin | 716,09 |
| 14 à 6 h. matin | 743,42 | 17 à 2 h. après midi | 733,85 |
| 21 à 10 h. matin | 741,70 | 25 à 6 h. soir | 710.27 |
| 27 à 10 h. matin | 729,27 | 28 à 8 h. soir | 726,25 |
| 29 à midi | 728,91 | 30 à 4 h. après midi | 725,88 |

| Jours du mois. | Baromètre. Hauteur moy. des 24 h. | Baromètre. Écart avec la hauteur normale | Température C. Moyenne des 24 heures | Température C. Écart avec la temp. normale | Température C. Minim. | Température C. Maxim. | Tension de la vap. Moy. des 24 h. | Tension de la vap. Écart avec la tension normale. | Fract. de saturation en millièmes Moy. des 24 h. | Fract. de saturation en millièmes Écart avec la fraction norm. | Fract. de saturation en millièmes Minim. | Fract. de saturation en millièmes Maxim. | Pluie ou neige Eau tomb. d. les 24 h. | Pluie ou neige Nomb. d'h. | Vent dominant. | Clarté moy. du Ciel. | Temp. du Rhône Midi. | Temp. du Rhône Écart avec la temp. normale. | Limnimètre à 11 h. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | millim. | millim. | 0 | 0 | 0 | 0 | millim. | millim. | | | | | mm. | | | | 0 | 0 | cm |
| 1 | 734,25 | + 6,43 | + 1,25 | + 1,46 | — 1,6 | + 7,3 | 3,73 | —0,29 | 760 | —105 | 610 | 930 | ... | ... | NNE. 1 | 0,01 | ... | ..... | 121,0 |
| 2 | 734,76 | + 6,92 | — 0,53 | — 0,29 | — 4,1 | + 3,9 | 3,75 | —0,27 | 844 | — 21 | 660 | 930 | ... | ... | variable | 0,31 | +6,0 | + 0,5 | 125,2 |
| 3 | 732,97 | + 5,11 | — 0,06 | + 0,20 | — 2,3 | + 3,6 | 3,82 | —0,20 | 849 | — 16 | 650 | 1000 | ... | ... | variable | 0,23 | 6,0 | + 0,6 | 120,9 |
| 4 | 730,31 | + 2,44 | — 1,01 | — 0,73 | — 3,0 | + 2,2 | 3,67 | —0,35 | 875 | + 10 | 730 | 1000 | ... | ... | E. 1 | 0,62 | 5,7 | + 0,3 | 121,6 |
| 5 | 731,32 | + 3,43 | — 1,73 | — 1,44 | — 4,2 | + 0,2 | 3,63 | —0,40 | 896 | + 31 | 830 | 920 | ... | ... | SE. 1 | 0,97 | 5,6 | + 0,2 | 120,5 |
| 6 | 729,04 | + 1,14 | — 1,54 | — 1,23 | — 3,0 | + 2,8 | 3,74 | —0,29 | 929 | + 64 | 690 | 980 | ... | ... | S. 1 | 0,47 | ... | ..... | 119,0 |
| 7 | 723,98 | — 3,93 | + 2,70 | + 3,02 | — 3,6 | + 8,0 | 3,73 | —0,30 | 670 | —205 | 410 | 870 | ... | ... | S. 2 | 0,57 | 6,0 | + 0,7 | 120,2 |
| 8 | 716,78 | —11,13 | + 2,07 | + 2,39 | — 1,8 | + 6,2 | 4,68 | +0,64 | 911 | + 46 | 770 | 1000 | 9,1 | 8 | SO. 1 | 0,63 | 5,9 | + 0,7 | 117,5 |
| 9 | 719,60 | — 8,32 | — 0,22 | + 0,10 | — 2,0 | + 2,2 | 4,05 | +0,01 | 899 | + 35 | 710 | 960 | 0,8 | 5 | NE. 1 | 0,98 | 5,7 | + 0,5 | 120,1 |
| 10 | 727,65 | — 0,27 | — 3,08 | — 2,76 | — 4,6 | + 0,8 | 2,79 | —1,26 | 781 | — 83 | 730 | 820 | ... | ... | NE. 1 | 0,44 | 4,7 | — 0,4 | 120,8 |
| 11 | 731,17 | + 3,25 | — 5,20 | — 4,88 | — 7,3 | — 3,8 | 2,34 | —1,71 | 780 | — 84 | 690 | 820 | ... | ... | NE. 3 | 0,62 | 3,5 | — 1,6 | 124,2 |
| 12 | 736,96 | + 9,04 | — 8,45 | — 8,14 | — 9,4 | — 6,2 | 1,88 | —2,18 | 815 | — 48 | 720 | 890 | ... | ... | NE. 1 | 0,79 | 2,7 | — 2,4 | 118,0 |
| 13 | 740,76 | +12,84 | — 9,14 | — 8,84 | —10,3 | — 7,3 | 1,98 | —2,09 | 892 | + 29 | 810 | 920 | ... | ... | NE. 1 | 0,73 | ... | ..... | 116,0 |
| 14 | 742,32 | +14,41 | — 6,39 | — 6,10 | — 9,4 | — 2,2 | 2,41 | —1,66 | 856 | — 6 | 770 | 930 | ... | ... | E. 1 | 0,76 | 4,5 | — 0,5 | 113,2 |
| 15 | 737,88 | + 9,98 | + 0,35 | + 0,62 | — 6,5 | + 5,0 | 3,82 | —0,26 | 799 | — 63 | 370 | 920 | ... | ... | variable | 0,89 | 4,7 | — 0,3 | 113,5 |
| 16 | 735,61 | + 7,72 | + 3,71 | + 3,96 | + 0,6 | + 8,0 | 5,09 | +1,00 | 854 | — 7 | 670 | 920 | ... | ... | variable | 0,91 | 5,3 | + 0,3 | 114,2 |
| 17 | 734,17 | + 6,29 | + 3,48 | + 3,71 | — 0,5 | + 7,2 | 5,04 | +0,94 | 862 | + 1 | 730 | 940 | ... | ... | variable | 0,51 | ... | ..... | 115,0 |
| 18 | 734,41 | + 6,54 | + 1,65 | + 1,85 | — 2,6 | + 5,5 | 3,88 | —0,22 | 760 | —100 | 570 | 990 | ... | ... | NNE. 2 | 0,41 | 5,0 | + 0,1 | 112,3 |
| 19 | 737,61 | + 9,76 | + 0,29 | + 0,47 | — 1,1 | + 2,4 | 3,69 | —0,42 | 800 | — 59 | 680 | 880 | ... | ... | NE. 1 | 0,60 | 4,9 | 0,0 | 112,5 |
| 20 | 739,08 | +11,25 | — 1,06 | — 0,92 | — 2,9 | + 2,0 | 3,70 | —0,42 | 880 | + 22 | 720 | 980 | ... | ... | variable | 0,44 | ... | ..... | 113,0 |
| 21 | 740,77 | +12,96 | — 1,42 | — 1,31 | — 5,4 | + 2,0 | 3,82 | —0,31 | 918 | + 60 | 740 | 1000 | ... | ... | S. 1 | 0,77 | 4,8 | — 0,1 | 111,0 |
| 22 | 736,42 | + 8,63 | + 5,21 | + 5,28 | — 1,7 | +13,7 | 3,91 | —0,23 | 596 | —261 | 320 | 800 | ... | ... | SSO. 2 | 0,43 | 5,4 | + 0,6 | 110,0 |
| 23 | 730,78 | + 3,01 | + 6,04 | + 6,07 | + 3,4 | +10,6 | 5,47 | +1,32 | 776 | — 80 | 700 | 830 | 1,2 | 4 | SSO. 2 | 0,89 | 5,6 | + 0,8 | 106,1 |
| 24 | 721,72 | — 6,02 | + 3,43 | + 3,42 | + 2,5 | + 4,8 | 4,90 | +0,75 | 846 | — 9 | 760 | 1000 | 17,2 | 14 | SSO. 3 | 1,00 | 5,0 | + 0,2 | 106,8 |
| 25 | 712,91 | —14,80 | + 2,40 | + 2,34 | — 1,1 | + 6,4 | 4,11 | —0,05 | 778 | — 76 | 660 | 870 | 9,9 | 6 | variable | 0,81 | 5,4 | + 0,6 | 111,0 |
| 26 | 720,77 | — 6,91 | — 2,79 | — 2,89 | — 4,5 | 0,0 | 2,83 | —1,34 | 773 | — 80 | 660 | 860 | ... | ... | SSO. 1 | 0,71 | 4,7 | — 0,1 | 109,2 |
| 27 | 728,46 | + 0,81 | — 3,30 | — 3,45 | — 6,2 | — 0,9 | 2,84 | —1,34 | 809 | — 42 | 710 | 970 | ... | ... | NE. 1 | 0,18 | ... | ..... | 110,0 |
| 28 | 727,64 | + 0,03 | — 4,91 | — 5,12 | — 9,3 | — 1,9 | 2,67 | —1,52 | 839 | — 11 | 730 | 980 | ... | ... | variable | 0,65 | 4,6 | — 0,2 | 112,1 |
| 29 | 728,38 | + 0,81 | + 0,07 | — 0,19 | — 3,7 | + 5,9 | 3,25 | —0,95 | 721 | —128 | 500 | 940 | 1,3 | ... | variable | 0,51 | 4,5 | — 0,3 | 112,8 |
| 30 | 726,59 | — 0,94 | — 2,42 | — 2,74 | — 6,7 | + 1,7 | 3,10 | —1,11 | 805 | — 43 | 700 | 970 | ... | ... | NNE. 1 | 0,24 | 4,6 | — 0,2 | 110,3 |
| 31 | 727,57 | + 0,08 | — 1,99 | — 2,37 | — 5,1 | + 2,4 | 3,15 | —1,07 | 786 | — 60 | 700 | 860 | ... | ... | NNE. 3 | 0,93 | 4,4 | — 0,4 | 110,8 |

# MOYENNES DU MOIS DE JANVIER 1878.

| | 6 h. m. | 8 h. m. | 10 h. m. | Midi. | 2 h. s. | 4 h. s. | 6 h. s. | 8 h. s. | 10 h. s. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Baromètre.** | | | | | | | | | |
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1re décade | 728,20 | 728,44 | 728,70 | 728,19 | 727,86 | 728,08 | 727,85 | 728,01 | 727,90 |
| 2e » | 736,82 | 737,17 | 737,62 | 737,21 | 736,78 | 736,96 | 737,26 | 737,53 | 737,75 |
| 3e » | 727,72 | 728,24 | 728,48 | 727,99 | 727,11 | 726,86 | 726,64 | 726,67 | 726,67 |
| Mois | 730,81 | 731,19 | 731,50 | 731,03 | 730,47 | 730,51 | 730,46 | 730,61 | 730,64 |
| **Température.** | | | | | | | | | |
| | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° |
| 1re décade | — 1,30 | — 1,27 | + 0,07 | + 1,55 | + 2,17 | + 1,47 | + 0,38 | — 0,55 | — 1,13 |
| 2e » | — 3,40 | — 3,50 | — 2,21 | — 0,29 | + 0,37 | + 0,02 | — 1,22 | — 2,01 | — 2,69 |
| 3e » | — 1,90 | — 2,02 | + 0,07 | + 1,51 | + 2,70 | + 2,29 | + 1,19 | + 0,52 | + 0,01 |
| Mois | — 2,19 | — 2,26 | — 0,67 | + 0,94 | + 1,78 | + 1,29 | + 0,15 | — 0,64 | — 1,22 |
| **Tension de la vapeur.** | | | | | | | | | |
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1re décade | 3,67 | 3,65 | 3,77 | 3,73 | 3,76 | 3,81 | 3,91 | 4,01 | 3,80 |
| 2e » | 3,33 | 3,29 | 3,36 | 3,35 | 3,50 | 3,49 | 3,56 | 3,45 | 3,38 |
| 3e » | 3,57 | 3,40 | 3,38 | 3,62 | 3,79 | 3,82 | 3,92 | 3,76 | 3,79 |
| Mois | 3,53 | 3,45 | 3,50 | 3,57 | 3,69 | 3,71 | 3,80 | 3,74 | 3,66 |
| **Fraction de saturation en millièmes.** | | | | | | | | | |
| 1re décade | 880 | 870 | 807 | 738 | 705 | 753 | 828 | 902 | 896 |
| 2e » | 896 | 893 | 825 | 726 | 717 | 729 | 807 | 831 | 851 |
| 3e » | 877 | 839 | 721 | 699 | 684 | 701 | 769 | 779 | 813 |
| Mois | 884 | 866 | 782 | 720 | 702 | 727 | 800 | 835 | 852 |

| | Therm. min. | Therm. max. | Clarté moy. du Ciel. | Température du Rhône. | Eau de pluie ou de neige. | Limnimètre. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ° | ° | | ° | mm | cm |
| 1re décade | — 3,02 | + 3,72 | 0,52 | + 5,70 | 9,9 | 120,7 |
| 2e » | — 4,94 | + 1,06 | 0,67 | + 4,37 | — | 115,2 |
| 3e » | — 3,44 | + 4,06 | 0,65 | + 4,90 | 29,6 | 110,0 |
| Mois | — 3,79 | + 2,98 | 0,61 | + 5,01 | 39,5 | 115,1 |

Dans ce mois, l'air a été calme 0,0 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 1,12 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est O. 75°,1 N. et son intensité est égale à 26,28 sur 100.

# TABLEAU

DES

# OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

## FAITES AU SAINT-BERNARD

pendant

## LE MOIS DE JANVIER 1878.

---

Le 2, assez forte bise tout le jour.
8, neige et brouillard jusqu'à 7 h. du soir.
9, neige et brouillard tout le jour; la violence de la bise était telle que l'on n'a pu recueillir qu'une petite partie de la neige tombée.
10, brouillard jusqu'à 8 h. soir, forte bise.
11, brouillard une partie de la journée.
15, brouillard tout le jour, très-forte bise.
16, idem.
17, idem.
18, brouillard une partie de la journée, la bise est beaucoup moins forte que les trois jours précédents.
21, brouillard le soir.
23, la neige commence à tomber vers 4 h. après midi, et elle continue à tomber le 24 et le 25, mais en raison de la violence de la bise l'on n'a pu recueillir qu'une petite partie de la neige tombée. Brouillard constant le 24 et le 25.
26, brouillard tout le jour, très-forte bise.
27, la bise continue à souffler, mais elle est moins forte.
28, assez forte bise.
29, brouillard, neige en petite quantité, qui n'a pas pu être recueillie, forte bise.

### *Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.*

| MAXIMUM | mm | MINIMUM. | mm |
|---|---|---|---|
| Le 2 à 10 h. matin | 566,74 | Le 4 à 6 h. matin | 562,25 |
| 5 à 6 h. soir | 564,99 | 9 à 6 h. matin | 550,18 |
| 14 à 10 h. matin | 570,64 | 18 à 8 h. matin | 564,55 |
| 21 à 10 h. soir | 574,01 | 25 à 10 h. soir | 545,54 |
| 29 à 8 h. matin | 559,20 | 30 à 2 h. après midi | 556,61 |

# SAINT-BERNARD. — JANVIER 1878.

| Jours du mois. | Baromètre. | | | | Température C. | | | | Pluie ou neige. | | | Vent dominant. | Clarté moyenne du Ciel. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hauteur moy. des 24 heures. | Écart avec la hauteur normale. | Minimum. | Maximum. | Moyenne des 24 heures. | Écart avec la température normale. | Minimum* | Maximum* | Hauteur de la neige. | Eau tombée dans les 24 h. | Nombre d'heures. | | |
| | millim. | millim. | millim. | millim. | 0 | 0 | 0 | 0 | millim. | millim. | | | |
| 1 | 565,34 | + 3,98 | 565,08 | 565,77 | —10,36 | — 1,75 | —13,8 | — 8,0 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,02 |
| 2 | 566,22 | + 4,89 | 565,82 | 566,74 | — 5,90 | + 2,74 | — 7,3 | — 3,8 | ..... | ..... | .... | NE. 2 | 0,31 |
| 3 | 563,91 | + 2,60 | 563,43 | 564,48 | — 9,00 | — 0,33 | —10,4 | — 7,7 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,09 |
| 4 | 563,07 | + 1,78 | 562,25 | 563,63 | — 7,74 | + 0,96 | — 9,3 | — 5,4 | ..... | ..... | .... | SO. 1 | 0,16 |
| 5 | 564,37 | + 3,10 | 563,83 | 564,99 | — 4,10 | + 4,63 | — 6,1 | — 1,7 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,36 |
| 6 | 563,65 | + 2,40 | 563,29 | 564,14 | — 5,39 | + 3,38 | — 6,5 | — 3,4 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,96 |
| 7 | 559,40 | — 1,83 | 556,87 | 561,63 | — 7,86 | + 0,94 | — 9,8 | — 5,0 | ..... | ..... | .... | SO. 1 | 0,42 |
| 8 | 552,64 | — 8,57 | 551,57 | 554,81 | —11,06 | — 2,23 | —13,9 | — 8,8 | 200 | 16,2 | .... | NE. 1 | 0,79 |
| 9 | 551,33 | — 9,85 | 550,18 | 553,30 | —14,40 | — 5,55 | —15,7 | —12,8 | 80 | 5,6 | .... | NE. 3 | 0,92 |
| 10 | 556,23 | — 4,92 | 555,23 | 557,21 | —17,02 | — 8,15 | —17,8 | —15,5 | ..... | ..... | .... | NE. 2 | 0,52 |
| 11 | 558,83 | — 2,29 | 557,47 | 560,55 | —17,86 | — 8,97 | —20,0 | —15,5 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,61 |
| 12 | 563,60 | + 2,50 | 561,86 | 565,15 | —16,25 | — 7,34 | —20,3 | —12,9 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,00 |
| 13 | 567,51 | + 6,44 | 565,86 | 569,28 | — 9,60 | — 0,67 | —11,0 | — 7,7 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,00 |
| 14 | 570,23 | + 9,19 | 570,05 | 570,64 | — 8,24 | + 0,71 | — 9,6 | — 6,1 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,12 |
| 15 | 567,56 | + 6,55 | 567,12 | 568,31 | — 6,88 | + 2,09 | — 8,9 | — 4,9 | ..... | ..... | .... | NE. 3 | 1,00 |
| 16 | 567,24 | + 6,26 | 566,85 | 567,52 | — 6,32 | + 2,67 | — 7,9 | — 4,4 | ..... | ..... | .... | NE. 2 | 1,00 |
| 17 | 565,11 | + 4,16 | 564,62 | 565,63 | — 8,18 | + 0,83 | —10,0 | — 6,3 | ..... | ..... | .... | NE. 2 | 0,90 |
| 18 | 565,30 | + 4,38 | 564,55 | 566,58 | —10,75 | — 1,73 | —11,2 | — 9,8 | ..... | ..... | .... | NE. 2 | 0,33 |
| 19 | 567,61 | + 6,72 | 567,13 | 567,99 | —10,93 | — 1,90 | —11,4 | — 9,1 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,00 |
| 20 | 569,49 | + 8,63 | 568,19 | 571,17 | — 8,21 | + 0,83 | — 9,7 | — 6,3 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,00 |
| 21 | 573,00 | +12,18 | 572,06 | 574,01 | — 1,84 | + 7,21 | — 4,7 | + 0,4 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,56 |
| 22 | 571,78 | +10,99 | 570,89 | 572,92 | + 1,86 | +10,92 | + 1,0 | + 3,5 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,19 |
| 23 | 565,03 | + 4,27 | 561,58 | 568,53 | — 3,78 | + 5,29 | — 6,4 | — 0,9 | 200 | 16,2 | .... | NE. 1 | 0,53 |
| 24 | 554,09 | — 6,64 | 551,92 | 556,57 | — 9,92 | — 0,85 | —11,5 | — 7,0 | 100 | 8,4 | .... | NE. 2 | 1,00 |
| 25 | 547,18 | —13,51 | 545,54 | 548,55 | —11,71 | — 2,63 | —15,8 | — 7,3 | 340 | 17,8 | .... | NE. 2 | 1,00 |
| 26 | 550,58 | —10,27 | 548,68 | 552,88 | —18,53 | — 9,45 | —20,3 | —17,0 | ..... | ..... | .... | NE. 3 | 0,98 |
| 27 | 556,70 | — 3,91 | 555,25 | 557,51 | —18,27 | — 9,19 | —19,5 | —16,8 | .... | ..... | .... | NE. 2 | 0,01 |
| 28 | 558,03 | — 2,54 | 556,41 | 559,16 | —10,34 | — 1,26 | —15,8 | — 7,4 | ..... | ..... | .... | NE. 2 | 0,16 |
| 29 | 558,32 | — 2,22 | 557,93 | 559,20 | —14,42 | — 5,34 | —16,0 | —12,3 | ..... | ..... | .... | NE. 2 | 1,00 |
| 30 | 556,69 | — 3,82 | 556,61 | 557,11 | —15,67 | — 6,60 | —17,8 | —10,9 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,17 |
| 31 | 557,81 | — 2,67 | 556,80 | 559,08 | —12,58 | — 3,51 | —14,8 | — 8,7 | ..... | ..... | .... | NE. 1 | 0,01 |

* Ces colonnes renferment la plus basse et la plus élevée des températures observées de 6 h. matin à 10 h. soir.

# MOYENNES DU MOIS DE JANVIER 1878.

| | 6 h. m. | 8 h. m. | 10 h. m. | Midi. | 2 h. s. | 4 h. s. | 6 h. s. | 8 h. s. | 10 h. s. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Baromètre.** | | | | | | | | | |
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1re décade | 560,79 | 560,85 | 560,96 | 560,74 | 560,52 | 560,62 | 560,65 | 560,59 | 560,47 |
| 2e » | 565,58 | 565,94 | 566,17 | 566,20 | 566,22 | 566,40 | 566,59 | 566,78 | 566,99 |
| 3e » | 559,19 | 559,24 | 559,43 | 559,21 | 559,03 | 558,98 | 558,91 | 558,86 | 558,79 |
| Mois | 561,77 | 561,92 | 562,10 | 561,96 | 561,83 | 561,90 | 561,95 | 561,97 | 561,98 |
| **Température.** | | | | | | | | | |
| | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° |
| 1re décade | —10,08 | — 9,57 | — 8,80 | — 7,70 | — 7,38 | — 8,57 | — 9,17 | — 9,55 | —10,06 |
| 2e » | —11,30 | —10,79 | —10,07 | — 9,02 | — 8,99 | — 9,62 | — 9,77 | —10,16 | —10,51 |
| 3e » | —11,06 | —11,00 | —10,25 | — 9,36 | — 8,96 | — 9,57 | —10,22 | —10,41 | —10,76 |
| Mois | —10,82 | —10,47 | — 9,72 | — 8,72 | — 8,46 | — 9,26 | — 9,74 | —10,04 | —10,45 |

| | Min. observé. | Max. observé. | Clarté moyenne du ciel. | Eau de pluie ou de neige. | Hauteur de la neige tombée. |
|---|---|---|---|---|---|
| | ° | ° | | mm | mm |
| 1re décade | —11,06 | — 7,21 | 0,36 | 21,8 | 280 |
| 2e » | —12,00 | — 8,30 | 0,40 | — | — |
| 3e » | —14,16 | — 8,44 | 0 51 | 42,4 | 640 |
| Mois | —12,01 | — 7,73 | 0,43 | 64,2 | 920 |

Dans ce mois, l'air a été calme 0,00 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 29,21 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 45° E., et son intensité est égale à 141,6 fois sur 100.

SUR

# LE TERBIUM ET SES COMPOSÉS

ET SUR

## L'EXISTENCE PROBABLE D'UN NOUVEAU MÉTAL

DANS LA SAMARSKITE DE LA CAROLINE DU NORD

PAR

**M. Marc DELAFONTAINE**

(Ier Mémoire)

---

### I. *Préparation et poids atomique de la terbine.*

A la fin de la notice que j'ai publiée il y a quelques mois[1] sur les constituants de la samarskite, j'annonçais un prochain mémoire sur la terbine et ses principaux composés. La rédaction de ce travail a été retardée par mon désir de trouver une méthode de préparation et de purification de cette base qui rendît impossible toute objection contre l'existence de cette terre niée, on le sait, par MM. Bunsen et Clève.

Du reste, la samarskite de la Caroline du Nord est probablement la meilleure matière première que je pusse employer dans ce but. En effet, les terres qu'elle contient s'y trouvent dans des proportions relatives très-différentes de celles de la gadolinite. L'erbine rose de

[1] *Archives*, n° de juin 1877.

M. Bunsen et l'yttria s'y trouvent en quantité beaucoup plus faible, la première surtout, tandis que la terbine (erbine de Mosander) y est comparativement abondante. La couleur même des terres brutes montre qu'il y a là une base jaune foncé, leur poids atomique moyen (MO= 95 env.), mis en regard de la faible teneur en erbine rose ferait à elle seule soupçonner l'existence d'un troisième oxyde distinct.

Les expériences qui seront décrites dans les pages qui suivent démontrent que cette conclusion est parfaitement fondée. Avant d'entrer en matière, il est bon de dire quelques mots de l'examen que j'ai fait des oxydes de la cérite contenus dans la samarskite. Dans un mémoire récent[1], M. Lawrence Smith a émis des doutes sur la présence du cérium, et tout dernièrement il a annoncé y avoir trouvé une terre qui doit être nouvelle, si elle n'est la terbine; j'ai donc cru devoir faire quelques expériences à ce sujet.

Ces oxydes sont ceux que l'on extrait du sulfate potassico-terreux insoluble dans le sulfate potassique. Me basant sur l'association habituelle du cérium, du lanthane et du didyme, je les avais considérés comme un mélange de ces trois corps. Toutefois, il ne m'a pas été possible d'en extraire du cérium, quoiqu'il y en ait peut-être une trace; la présence du lanthane y est également douteuse; en revanche le didyme y est accompagné de terbine en quantité notable, comme on peut le voir par ce qui suit :

Le mélange a été dissout dans l'acide nitrique et traité de nouveau par le sulfate de potasse de la manière habituelle, ce qui a donné une solution et un précipité (B).

[1] *Am. Journ. of Sciences and Arts.* May 1877.

(A) La solution a été décomposée pour en extraire les bases que l'on a combinées avec de l'acide acétique. L'acétate s'est déposé avec facilité en cristaux *blancs* transparents, sans nuance de rose. beaucoup moins solubles que l'acétate didymique[1], se décomposant à une température peu élevée en noircissant d'abord, puis brûlant lentement comme de l'amadou. Le résidu de cette combustion était jaune orangé foncé : traité par l'acide formique, il a donné une croûte peu cristalline plus soluble que les formiates de la cérite, et dont l'eau mère, évaporée à sec, s'est beaucoup boursouflée par la calcination, ce qui n'est pas la manière d'agir des formiates de lanthane ou de didyme.

(B) Les terres du sulfate double insoluble dans celui de potasse, ressemblaient beaucoup à l'oxyde didymique ; leur nitrate, de couleur améthyste pâle, traité par l'acide oxalique en présence d'un grand excès d'acide nitrique, a donné une série de précipités cristallins rosés, dont l'eau mère ne retenait guère qu'une trace de terre, qui pouvait être du lanthane. Ces précipités contenaient surtout du didyme.

Il est bien certain que le sulfate de potasse, ni celui de soude, ne séparent bien les terres de la gadolinite des terres de la cérite dans la samarskite ; quelque soigneux que l'on soit, l'on n'évite pas qu'une partie des terres yttriques, surtout de la terbine, soit entraînée avec le didyme. Je suis très-porté à croire que cette remarque s'applique également à la gadolinite et autres minéraux semblables. Suivant Mosander, les gadolinites d'Ytterby

[1] Je me suis assuré que l'acétate didymique ne se dépose qu'avec beaucoup de lenteur d'une solution sirupeuse, en cristaux rouges comme le sulfate qui n'ont pas brûlé comme ceux de terbine.

renferment plus de lanthane et les orthites plus de didyme. Au contraire, M. Clève annonce que la gadolinite renferme seulement du didyme, de l'yttria et de l'erbine. Mais il est fort possible que ces chimistes se soient laissés tromper par les analogies très-grandes de la terbine avec les terres de la cérite. Je rappellerai encore à ce sujet que j'ai élevé autrefois des doutes sur l'exactitude d'une analyse de gadolinite par MM. Bahr et Bunsen, dans laquelle ces chimistes avaient trouvé beaucoup plus de métaux du groupe cérium, et beaucoup moins de ceux de l'yttria que leurs devanciers, lesquels ne faisaient pas subir à leurs produits des précipitations répétées par le sulfate de potasse.

### *Préparation de la terbine.*

Après des essais aussi nombreux que variés, je me suis arrêté au procédé suivant, qui donne d'assez bons résultats dans un temps comparativement court. Rappelons, avant de le décrire, deux faits déjà connus sur lesquels il est basé.

1° Les formiates lanthanique, didymique et céreux sont insolubles dans l'eau, leurs solubilités respectives étant, suivant M. Clève ou ses collaborateurs, 1 p. en 421 d'eau pour le premier, 1 p. en 221 pour le second, 1 en 360 pour le troisième. Ces formiates sont pulvérulents et ont une grande tendance à former des fusées d'étincelles en brûlant. Les formiates d'yttria et d'erbine rose cristallisent de leur solution sirupeuse en mamelons fibroradiés comme la wavellite, et se boursouflent énormément par la calcination.

2° Les oxalates d'yttria et de lanthane sont beaucoup

plus solubles dans l'acide nitrique concentré ou mêlé de très-peu d'eau, que celui de didyme.

Après avoir séparé les terres de la cérite au moyen du sulfate de potasse, j'ai dissous l'yttria et ses congénères dans l'acide nitrique, mélangé la solution sirupeuse avec une solution saturée de sulfate de soude, et ajouté des cristaux de ce dernier jusqu'à refus. Le lendemain, un dépôt cristallin s'était formé. La liqueur claire a été décantée, on y a ajouté l'eau d'un lavage du précipité, puis séparé les oxydes terreux par le moyen de l'oxalate d'ammoniaque. Le sulfate double insoluble a été décomposé de la même manière; il ne se dissout dans l'eau pure qu'avec une grande lenteur, même en présence d'acide chlorhydrique, surtout si la liqueur où il s'est formé avait été *préalablement un peu chauffée*. Après calcination, les bases du dernier produit sont jaune foncé, celles du sulfate soluble, quoique jaunes aussi, ont une teinte plus claire; elles ont été étudiées séparément.

A. *Terres foncées*. Leur solution nitrique concentrée montre, sous une épaisseur de cinq ou six centimètres, le spectre didymique excessivement affaibli et incomplet. On l'a mélangée avec un grand excès d'acide nitrique, et ajouté une solution concentrée chaude d'acide oxalique, goutte à goutte, jusqu'à formation d'un précipité permanent; au bout de 24 heures, le liquide décanté était concentré et soumis à une nouvelle précipitation fractionnée, et ainsi de suite une troisième, quatrième et cinquième fois. Les oxalates réunis ont été mis en digestion dans de l'acide nitrique étendu de la moitié de son volume d'eau, calcinés, redissous dans l'acide nitrique et soumis à une nouvelle série de précipitations par l'acide oxalique. Les terres de

ces oxalates ainsi repurifiés ont été jetées par petites portions à la fois dans de l'acide formique étendu; tout s'est dissous et la liqueur était claire; en la chauffant et la concentrant légèrement, on y a déterminé la formation d'un dépôt pulvérulent, blanc, non cristallin. Ce formiate insoluble détruit par le feu laisse une base d'une couleur orangée foncée; la liqueur d'où il s'est précipité en donne une également jaune, quoiqu'un peu plus claire. En redissolvant la première dans l'acide formique et précipitant par la concentration, deux ou trois fois, l'on élève la teneur en base de quelques centièmes jusqu'à ce qu'elle dépasse 60 pour cent. 25 cent. d'une solution saturée de ce formiate purifié ont laissé, après évaporation, un résidu pesant gr. 0,847, ce qui donne une solubilité de 3,4 pour cent environ; une autre expérience a laissé gr. 0,393 de sel pour 13 c. d'eau, soit 3,2 pour cent.

*Poids atomique.* Dans un travail en voie de préparation, je donnerai une détermination plus exacte du poids atomique de l'yttrium, du thorium et du terbium. Provisoirement, je fixe ce dernier à 98 et celui de la terbine à 114, en faisant remarquer que ces chiffres ne sont probablement qu'une limite inférieure et qu'ils se confondent avec ceux du didyme. Du sulfate en cristaux nets, petits, incolores, a été desséché avec soin, 2 gr. 875 ont été précipités par l'acide oxalique, l'oxalate calciné a donné 1 gr. 689, soit 58,74 pour cent de terre. L'analyse du formiate confirme ce résultat, car 100 p. de ce sel ont donné 60,56 au lieu de 60,64 pour cent de base. Il en est de même de celle de l'acétate, qui en a donné 42,56 pour cent.

Le formiate est une poudre blanche, ou bien il s'at-

tache aux capsules sous la forme de croûtes non cristallines très adhérentes; par la calcination, il brûle sans se boursoufler; comme on l'a vu plus haut, il se dissout dans un peu plus de trente fois son poids d'eau froide; il ne paraît guère plus soluble à chaud.

L'acétate cristallise facilement en petits prismes bien nets, transparents, incolores, beaucoup moins solubles que ceux de l'acétate didymique, lequel est rose et ne se dépose qu'au bout de plusieurs jours de sa solution sirupeuse. Je n'ai pas réussi à le dessécher complétement sans le décomposer; sa formule est Tb O, Ac. 2 $^2/_3$ aq. Il se charbonne à une température bien inférieure au rouge et brûle lentement comme l'amadou.

La faible solubilité du formiate terbique, même à la rigueur, la couleur de la terbine, et le fait qu'on la retire d'un sulfate double insoluble dans le sulfate sodique pourraient conduire quelques chimistes à n'y voir qu'un mélange de lanthane et de didyme. La formation de l'oxalate en présence d'un grand excès d'acide nitrique exclut la possibilité de la présence d'une quantité appréciable de lanthane et, de plus, le spectroscope ne révèle qu'une proportion minime de didyme; d'ailleurs on ne saurait comprendre comment un oxyde pourrait avoir l'équivalent de celui de didyme et être un mélange de ce dernier, avec d'autres à équivalent plus bas. L'absence de coloration des sels, la grande différence de solubilité des formiates, acétates et sulfates éloignent la terbine du didyme; l'oxyde de lanthane même mélangé avec de l'oxyde didymique n'est jamais d'une belle couleur orange foncé.

La terbine, qui fait le sujet de ce mémoire, possède les caractères que j'ai reconnus autrefois à l'erbine de Mosander. La manière de se comporter en présence des

acides concentrés ou étendus, la perte de couleur par une forte calcination dans un vase clos ou dans une atmosphère réductrice, la réapparition de la même à chaud en présence de l'oxygène, la grande tendance à former des sous-sels insolubles avec les acides nitrique, acétique et d'autres, sont les mêmes. La seule différence de quelque importance se trouve dans le poids atomique un peu plus élevé de mon nouveau produit ; il est bien clair que les méthodes suivies autrefois par moi ne donnaient pas une séparation exacte, mais quant à savoir avec quoi mon ancienne terbine était mélangée, c'est un point à élucider.

## II

### *Sur les autres terres de la samarskite.*

Comme il a été dit plus haut, le sulfate de soude sépare les terres yttriques de la samarskite en une portion foncée et une plus claire. En vue d'obtenir tout de suite un produit riche en yttria et un autre dans lequel la terbine se fût concentrée, j'ai voulu essayer de l'action de l'acide formique, en me basant sur le fait que le formiate d'yttria est au moins dix fois plus soluble que celui de terbine. Comme on va le voir, les résultats n'ont pas été exactement tels que je les espérais.

Le mélange des terres a été traité par l'acide formique à chaud, avec assez d'eau pour dissoudre les sels formés ; mais il s'est formé un magma blanc, qu'une nouvelle addition d'eau chaude n'a pas redissous. On a filtré, au bout de 24 heures, après avoir agité souvent. La liqueur soumise à des concentrations lentes, successives, a donné d'abord des cristaux brillants, très-nets, en prismes courts

nettement rhomboïdaux, ne se groupant pas en mamelons, ils contenaient entre 47 et 47,5 pour cent de terre jaune vif, puis il s'est formé en outre des prismes beaucoup plus longs qui tendaient à se grouper en rayons; ces derniers, séparés des autres et mélangés avec l'eau mère desséchée, se sont énormément boursouflés par la calcination, en laissant une terre jaune clair vif, qui a été mise à part comme riche en yttria. Les premiers formiates réunis et recristallisés ont à peine varié en composition. On a soumis la base des cristaux ainsi purifiés à des précipitations fractionnées par l'acide oxalique en présence de l'acide nitrique; l'oxalate mis à digérer dans l'acide nitrique fort, etc., etc., et je suis toujours retombé sur un poids atomique oscillant entre 89 et 91. Enfin une moitié de la terre a été dissoute dans l'acide acétique et l'autre dans de l'acide formique, les deux liquides chauds mélangés, et il s'est déposé une poudre blanche cristalline fort peu soluble : l'équivalent de sa base était encore 91.

C'est le lieu ici de dire quelques mots sur les résidus de terres foncées qui restaient après l'extraction de la terbine. Elles étaient encore d'un si beau jaune que je m'attendais à en extraire aisément de la terbine. Cependant de nouvelles précipitations fractionnées n'ont donné qu'une terre dont l'équivalent était bien au-dessous de celui de la terbine. Les portions non précipitées ont été calcinées, partagées en deux portions dont l'une a été combinée avec de l'acide formique, et l'autre avec de l'acide acétique; par le mélange des deux liqueurs, j'ai obtenu comme ci-dessus une poudre blanche cristalline peu soluble, dont la base avait l'équivalent 90.

Tout en reconnaissant le peu de probabilité que la samarskite renferme deux terres jaunes à très-peu près

de la même nuance, ne différant guère que par leur poids atomique, je dois dire que j'ai déjà observé un *nombre de faits suffisant* en faveur de cette hypothèse pour justifier de nouvelles expériences, et il me paraît bien probable qu'il se confirmera que les produits mentionnés plus haut sont bien homogènes, et que j'ai trouvé dans ce minéral une terre nouvelle outre celles déjà décrites. Du reste, cette question sera décidée sous peu [1].

Chicago, 8 janvier 1878.

[1] Je désire exprimer ici mes vifs remerciements à M. Lawrence Smith pour d'abondantes provisions de samarskite dont il a bien voulu me faire présent.

SUR

# LES TERRES DE LA GADOLINITE

PAR

**M. C. MARIGNAC**

---

Empêché de poursuivre ses recherches chimiques sur les terres de la gadolinite avec autant d'activité qu'il l'aurait désiré, soit par de nombreuses occupations, soit par la difficulté de se procurer une quantité suffisante de ce minéral rare, M. Delafontaine m'avait souvent engagé à faire de mon côté quelques recherches sur ce sujet et à m'assurer par moi-même de l'exactitude des faits qu'il a exposés à plusieurs reprises dans ce recueil [1] et sur lesquels il s'appuie pour soutenir l'existence des trois terres, jadis confondues sous le nom d'yttria, et distinguées pour la première fois, en 1843, par Mosander. On sait en effet que deux chimistes célèbres, MM. Bahr et Bunsen [2] ont nié l'existence de l'une de ces trois terres, qui ne serait suivant eux qu'un mélange des deux autres coloré en jaune par l'oxyde de didyme, et que dans un travail plus récent et très-étendu [3], deux chimistes suédois, MM. Clève

[1] V. *Archives*, XXI, 97 (1864); XXII, 30 (1865); XXV, 105 (1866); LI, 48 (1874). Voir aussi l'article précédent dans ce numéro.

[2] *Annalen der Chemie und Pharmacie*, CXXXVII, 1 (1866).

[3] *Bulletin de la Société chimique de Paris*, XVIII, 193 et 289 (1872).

et Hoglund, opérant sur une quantité de matière qu'aucun autre chimiste n'avait eu jusqu'alors à sa disposition, ont complétement admis cette opinion et déclaré infructueux tous leurs efforts pour obtenir la troisième terre ou terre jaune de la gadolinite.

M'étant procuré environ un kilogramme de gadolinite de Suède, il est vrai passablement mélangée de gangue, j'en ai retiré, par les méthodes connues et qu'il serait inutile de rappeler, près de 200 grammes des terres de l'yttria, présentant une couleur d'un jaune pâle après avoir été débarrassées, autant que possible, des oxydes cériques, didymiques, etc., par le traitement ordinaire au moyen du sulfate de potasse.

Bien que mon travail sur cette matière première m'ait occupé pendant près de deux années, j'en présenterai un résumé assez succinct. Il serait inutile en effet de décrire tous les essais que j'ai faits sans succès à la recherche d'un procédé de séparation moins imparfait que ceux qui ont été indiqués par mes devanciers. Je n'insisterai que sur la partie de ce travail qui m'a amené à la conviction de l'existence de la terre jaune, pour laquelle j'adopte avec M. Delafontaine le nom de *terbine*, conservant pour la terre rose celui d'*erbine* admis maintenant par tous les chimistes à la suite des travaux classiques de MM. Bahr et Bunsen, Clève et Hoglund, bien que l'on ne puisse nier qu'il en résulte une interversion des noms primitivement attribués à ces deux oxydes par Mosander.

J'ai cherché à suivre, pour la séparation de ces terres, la méthode de MM. Bahr et Bunsen. Elle consiste à chauffer leurs azotates mélangés jusqu'au point où un commencement de décomposition se manifeste par le dégagement de vapeurs rutilantes, à redissoudre dans l'eau

bouillante et à faire cristalliser par refroidissement. Il se dépose un sous-sel peu soluble plus riche en erbine, tandis que la dissolution retient une plus grande quantité d'yttria. Il m'a paru cependant que, lorsqu'on a à traiter des mélanges ne renfermant que peu d'erbine, il est plus commode de pousser la décomposition des azotates par la chaleur un peu plus loin, jusqu'au moment où la masse commence à s'épaissir, et à faire bouillir avec de l'eau en excès. Le résultat est le même, on obtient un résidu insoluble et une dissolution dans laquelle l'yttria s'est concentrée, et sur laquelle on recommence le même traitement.

Avec quelque habitude on arrive facilement à partager la matière primitive que je désignerai par Y en cinq portions à peu près équivalentes, que nous distinguerons par les signes $Y_2$, $Y_1$, Y, $E_1$, $E_2$ en passant successivement du produit le plus riche en yttria à ceux qui renferment des proportions croissantes d'erbine ; $E_2$ est le produit insoluble de la première décomposition des azotates, $Y_2$ la dernière dissolution après quatre opérations.

La terre $E_2$ est redissoute dans l'acide azotique et soumise à la même série d'opérations qui la partagent en cinq nouvelles portions : Y, $E_1$, $E_2$, $E_3$ $E_4$, dont les deux premières sont ajoutées aux produits de même nom du premier traitement, tandis que le même travail exécuté sur $Y_2$ donnera les produits $Y_4$, $Y_3$, $Y_2$, $Y_1$, Y.

Il est inutile de pousser plus loin la description de cette méthode facile à comprendre. Mais on conçoit qu'à mesure qu'on parvient à des produits plus éloignés du point de départ, leur poids diminue rapidement. $E_2$ ne présente plus que $\frac{1}{5}$, $E_4$ $\frac{1}{125}$, etc., du poids de la matière première. Il faut donc reprendre les produits intermé-

diaires et, en repétant toujours sur eux le même traitement, on arrive peu à peu à en rejeter de nouvelles portions de plus en plus riches en yttria ou en erbine vers les deux extrémités de la série.

Ce n'est qu'après avoir répété quelques centaines de fois ces opérations que je suis parvenu à répartir la terre brute primitive en dix-sept produits successifs depuis $Y_8$ à $E_8$, et voici les résultats de ce traitement.

Les deux produits extrêmes présentent tous les caractères assignés à l'yttria et à l'erbine, soit par MM. Bahr et Bunsen, soit par MM. Clève et Hoglund. L'yttria est parfaitement blanche, et la dissolution de ses sels ne présente au spectroscope aucune bande d'absorption [1] ; l'erbine est d'un blanc rosé, passant au gris rosé par une forte calcination, ses sels ont une couleur rose et présentent plusieurs bandes d'absorption qui ont été décrites par M. Bunsen.

En cela mes observations s'accordent entièrement avec celles des savants allemands et suédois, mais elles laissent complétement indécise jusque-là la question de l'existence de la terbine et ne la contredisent en aucune façon. En effet si les deux produits extrêmes n'offrent aucune coloration jaune, il n'en est pas de même des produits intermédiaires, qui présentent cette coloration d'une manière

[1] A la condition cependant d'avoir été de nouveau débarrassée par un traitement au sulfate de potasse d'une petite quantité de didyme qui avait échappé dans la purification de l'yttria brute, et qui se concentre dans la portion non décomposée des azotates, comme l'ont remarqué MM. Bahr et Bunsen.

Notons en passant que MM. Clève et Hoglund attribuent à tort une couleur jaune rougeâtre à l'yttria, préparée par la calcination de son oxalate, ce qui peut faire supposer qu'ils ne l'ont pas obtenue tout à fait pure et qu'elle renfermait probablement la terbine dont ils nient l'existence.

d'autant plus marquée qu'on s'éloigne davantage des termes extrêmes.

Il restait à savoir si cette coloration pouvait être due à la présence du didyme, les autres métaux connus qui auraient pu y donner lieu, savoir le fer, le manganèse et le cérium étant complétement écartés, soit par les traitements préliminaires de la terre brute, soit par les opérations mêmes exécutées sur les azotates. En effet leurs azotates se décomposent par la chaleur avant celui de l'erbine, en sorte que leurs oxydes se concentrent toujours dans le produit le plus riche en erbine et s'en séparent très-aisément, quand il y en a quelques traces, par une forte évaporation à siccité des azotates, poussée jusqu'à une température suffisante pour les décomposer sans faire perdre à celui d'erbine sa solubilité.

Pour résoudre cette question, j'ai pris celui de ces produits intermédiaires qui offrait la plus forte coloration. Sa dissolution azotique concentrée présentait les bandes d'absorption de l'erbine très-prononcées, mais très-faiblement aussi la bande caractéristique du didyme dans le jaune orangé. Soumise au traitement connu par le sulfate de potasse, elle a laissé séparer une très-petite quantité d'oxyde didymique; la terre demeurée en dissolution a été précipitée par la potasse caustique, lavée, convertie en oxalate et calcinée. Sa couleur jaune n'avait pas subi de diminution sensible. Redissoute dans l'acide azotique elle n'a plus offert que les bandes d'absorption de l'erbine. Il n'est donc pas possible d'attribuer la couleur jaune de cette terre à la présence du didyme.

J'ai voulu cependant aller au-devant d'une objection qui pourrait encore être soulevée. On pourrait peut-être supposer qu'un mélange d'erbine et d'yttria, dans de cer-

taines proportions, pourrait empêcher la précipitation du didyme par le sulfate de potasse, et, ce qui serait encore plus invraisemblable, empêcher la manifestation de son spectre d'absorption.

La terre sur laquelle j'avais fait l'essai précédent ayant un équivalent moyen d'environ 96, j'ai fait un mélange d'yttria et d'erbine, pures toutes les deux, dans des proportions telles qu'il présentât ce même équivalent, et j'ai ajouté à ce mélange 5 °/₀ d'oxyde de didyme. Les trois terres ont été dissoutes par l'acide azotique, précipitées par l'acide oxalique et l'oxalate calciné. J'ai obtenu ainsi une terre dont la coloration présentait quelque analogie avec celle de la terre extraite de l'yttria, mais cependant avec une nuance brune prononcée. Sa dissolution offrait les bandes d'absorption de l'erbine et du didyme. On l'a soumise au traitement par le sulfate de potasse, exactement comme on l'avait fait pour la terre jaune de l'yttria. J'ai séparé ainsi un poids d'oxyde didymique sensiblement égal à celui que j'avais introduit dans le mélange. Quant à la terre demeurée en dissolution, après avoir été convertie en oxalate et calcinée, elle n'a plus offert de couleur jaune.

Ainsi le mélange d'yttria et d'erbine n'empêche nullement la séparation de l'oxyde didymique. La couleur jaune de la terre extraite de la gadolinite est bien due à l'existence d'une terre spéciale, la terbine. Je ne crois pas qu'aucun doute puisse rester sur ce fait.

S'il est facile de démontrer ainsi l'existence de la terbine, la séparation et la purification de cette base offrent au contraire des difficultés que je n'ai point réussi à surmonter entièrement.

J'ai repris les produits successifs obtenus précédem-

ment par la décomposition des azotates. Laissant de côté les produits les plus rapprochés des extrêmes, dont la coloration très-faiblement jaunâtre indiquait qu'ils ne renfermaient que très-peu de terbine, j'ai réuni tous ceux qui étaient plus fortement colorés en deux séries, l'une comprenant tous ceux dont la solution ne présentait ni les bandes d'absorption de l'erbine, ni aucune coloration rose, et qui ne devaient être que des mélanges d'yttria et terbine, l'autre renfermait tous les produits à bande d'absorption, ils devaient renfermer la terbine et l'erbine et probablement aussi de l'yttria, mais celle-ci en moindre proportion. Les deux masses ainsi obtenues ont été soumises séparément au traitement par les précipitations partielles par l'acide oxalique. Voici comment je l'exécute.

La terre est dissoute dans huit à dix fois son poids d'acide azotique, on y ajoute à peu près autant d'eau, on porte à l'ébullition et l'on verse dans la liqueur bouillante, à l'aide d'une pipette graduée, un volume déterminé d'une solution saturée et froide d'acide oxalique. Il se forme par le refroidissement un dépôt cristallin d'oxalate, qu'on sépare au bout de vingt-quatre heures. La liqueur est reportée à l'ébullition et additionnée d'une nouvelle quantité d'acide oxalique, etc. On arrive bientôt à connaître les quantités de cet acide qu'il faut employer pour partager la terre dissoute en cinq produits successifs à peu près égaux en poids. Il reste toujours à la fin une portion de terre qu'une nouvelle addition d'acide oxalique ne précipite plus dans la liqueur acide. On l'obtient en évaporant la liqueur à siccité pour chasser l'acide azotique, et faisant bouillir le résidu avec un peu d'acide oxalique. Ce dernier produit est toujours fort peu coloré, et presque uniquement formé d'yttria, on peut le laisser de côté.

Quant aux cinq précipités successifs ainsi obtenus, on recommence sur chacun d'eux la même série d'opérations, en suivant la même marche que lors des décompositions successives des azotates, de manière à séparer de plus en plus les terres dont les oxalates sont les moins solubles dans l'acide azotique de celles qui résistent le plus longtemps à cette méthode de précipitation.

En soumettant à ce traitement le mélange d'yttria et de terbine on arrive au résultat suivant.

Les premiers précipités d'oxalates donnent par calcination une terre dont la couleur, d'un jaune orangé pur, devient de plus en plus foncée et dont l'équivalent s'élève graduellement. Les derniers précipités au contraire sont d'un jaune très-pâle et se rapprochent de plus en plus de l'yttria par la diminution de la couleur et l'abaissement de l'équivalent.

Mais, à mesure que la terbine se sépare ainsi de l'yttria, les traces de didyme et d'erbine, qui avaient échappé aux méthodes de séparation précédentes, s'accumulent aussi dans ces premiers précipités. Lors donc qu'on est arrivé au point où de nouvelles précipitations partielles ne déterminent plus une augmentation de la coloration et ne séparent plus que des quantités insignifiantes d'yttria, il faut soumettre le produit au traitement par le sulfate de potasse pour le débarrasser du didyme. Quant à la petite quantité d'erbine qui demeure dans la terbine, je ne connais aucun moyen de la séparer.

L'équivalent des derniers produits obtenus par cette méthode atteignait 116 [1]. Mais il est évident qu'ils sont mélangés d'erbine qui doit en élever l'équivalent.

[1] J'emploie à dessein le terme d'équivalent pour désigner la quantité de base contenant un atome (16) d'oxygène, sans me préoccuper

En comparant l'intensité des bandes d'absorption observées dans la solution azotique de cette terbine avec celle d'une solution d'erbine pure, je ne crois pas pouvoir estimer à plus de 6 à 8 % la quantité d'erbine qu'elle pouvait renfermer. Or en admettant pour l'équivalent de l'erbine le nombre 129, résultat moyen des expériences de MM. Bahr, Bunsen, Clève et Hoglund, la présence de 10 % de cette terre dans la terbine n'élèverait que de 1,3 son équivalent apparent. Je crois donc pouvoir prendre le nombre 115 comme représentant approximativement l'équivalent de cette terre. Le poids atomique du terbium serait donc 99 ou 148,5, suivant que l'on adoptera la formule TrO ou $Tr^2O^3$. Ce n'est évidemment là qu'une première approximation.

Je résumerai d'ailleurs ici les principaux caractères de cet oxyde. Sa couleur, après une calcination modérée, est d'un jaune orangé pur, mais très-foncé. Il se décolore complétement quand on le chauffe dans un courant d'hydrogène, ou quand on le soumet à une très-forte calcination. Dans ce dernier cas il ne se réoxyde plus quand on le chauffe au contact de l'air. Cette décoloration n'est accompagnée que d'une diminution de poids très-faible, comme pour l'oxyde didymique.

Il se dissout lentement, mais complétement, même dans

de sa constitution atomique, bien que je considère comme fort probable l'opinion émise pour la première fois par M. Mendeleef, appuyée par les recherches de M. Nilson et par les déterminations récentes des chaleurs spécifiques des métaux de la cérite, sur la triatomicité de tous les métaux de ce groupe.

Je me suis servi d'ailleurs pour déterminer cet équivalent, de la méthode exposée par MM. Bahr et Bunsen, reposant sur la conversion directe de l'oxyde fortement calciné en sulfate, et sur l'augmentation de poids qui en résulte.

les acides très-étendus, dans l'acide chlorhydrique avec dégagement de chlore. Ses sels sont complétement incolores. Ils ne possèdent probablement aucun spectre d'absorption ; en effet les raies observées pour des dissolutions concentrées sont très-faibles, et coïncident entièrement avec celles de l'erbine que je n'ai jamais réussi à séparer complétement.

Le sulfate de terbine forme des cristaux incolores, entièrement isomorphes avec ceux des sulfates d'yttria, d'erbine et de didyme, et présentant la même composition. Leur analyse, faite en chassant successivement l'eau au rouge sombre, et l'acide sulfurique par une très-forte calcination, m'a donné :

| | | Calculé | Trouvé |
|---|---|---|---|
| $Tr^2O^3$ | 345 | 47,32 | 47,51 |
| $3\ SO^3$ | 240 | 32,92 | » |
| $8\ Aq$ | 144 | 19,76 | 19,90 |
| | 729 | 100 | |

Les terres jaunes provenant de la décomposition des azotates, et dont les dissolutions présentaient les bandes d'absorption de l'erbine, ont été soumises au même traitement des précipitations successives par l'acide oxalique, mais je n'en ai pas obtenu un résultat satisfaisant.

On parvient bien par cette méthode à éliminer l'yttria en totalité ou au moins en très-grande partie en rejetant les derniers précipités d'oxalate qui donnent par calcination des terres peu colorées. On obtient ainsi un produit dont l'équivalent s'élève graduellement, mais dont la coloration jaune orangée n'atteint jamais l'intensité de celle de la terbine extraite des mélanges qui ne renfermaient que des traces d'erbine, et cesse d'augmenter après un cer-

tain nombre de précipitations. Il semblerait même plutôt que la coloration s'atténue légèrement. Les oxalates ont une couleur rose très-prononcée, et les dissolutions présentent les bandes d'absorption de l'erbine avec une grande intensité.

Il résulte de là que cette méthode ne fournit pas un moyen de séparer l'erbine de la terbine. La quantité de matière sur laquelle j'opérais se trouvait, à ce moment tellement reduite, que j'ai renoncé à essayer de recourir de nouveau aux décompositions partielles des azotates, ou à tenter d'autres procédés de séparation.

Je dois cependant signaler deux faits dont je ne vois pas d'explication satisfaisante, et qui pourraient peut-être faire supposer que l'opinion, émise dans le mémoire précédent par M. Delafontaine, de l'existence d'une quatrième terre, jaune comme la terbine, n'est pas sans quelque probabilité.

Bien que la terre jaune extraite du mélange précédent, eût été soumise à un si grand nombre de précipitations par l'acide oxalique, en présence d'un excès d'acide azotique, qu'il est difficile de croire qu'elle renfermât encore une proportion notable d'yttria ; bien qu'elle contînt au contraire une quantité considérable d'erbine, que je ne puis guère estimer à moins de moitié de son poids, à en juger par l'intensité de son spectre d'absorption, son équivalent ne s'est pas élevé au delà de 117, ce qui peut difficilement se concilier avec l'hypothèse d'un mélange d'erbine et de terbine (équivalents 129 et 115) aussi riche en erbine.

D'autre part, j'ai constaté, comme M. Delafontaine, que le formiate de terbine est beaucoup moins soluble que ceux d'erbine et d'yttria. L'idée de fonder sur ces différences une méthode de séparation de la terbine vient na-

turellement à l'esprit. J'ai essayé de l'appliquer aux mélanges précédents, mais je n'ai pas obtenu un résultat satisfaisant. Les terres converties en formiates et traitées successivement par de petites quantités d'eau m'ont donné une série de produits qui ne différaient pas beaucoup les uns des autres par leur coloration ni par leur équivalent. J'en avais conclu que le formiate de terbine, malgré sa moindre solubilité, est entraîné par ceux des deux autres terres et je n'ai pas poursuivi plus loin cet essai.

M. Delafontaine annonçant qu'il réussit bien par ce procédé à extraire la terbine des mélanges qui la contiennent, on pourrait peut-être supposer que l'insuccès de ma tentative tiendrait à ce que le produit sur lequel je l'ai faite n'aurait pas seulement renfermé la terbine, mais une autre terre également jaune. Mais cette hypothèse repose sur des présomptions trop vagues pour que j'y attache de l'importance.

M. Delafontaine ayant eu l'obligeance de m'envoyer une provision de samarskite, j'ai l'intention de soumettre les terres extraites de ce minéral au même traitement que celles de la gadolinite.

---

## ADDITION

Depuis la rédaction des pages précédentes, j'ai soumis à une nouvelle purification toute la portion de terbine que je considérais comme la plus pure. Je l'ai dissoute dans l'acide formique et évaporée, en rejetant les dernières eaux mères dans lesquelles l'yttria et l'erbine avaient dû se concentrer, et qui ont donné une terre

d'une nuance un peu moins foncée. J'ai repris par l'eau jusqu'à ce qu'il ne restât qu'une très-faible quantité de résidu, dans lequel se serait trouvé le didyme dont le formicate est presque insoluble. La dissolution précipitée par l'acide oxalique a donné une terre dont la solution azotique ne m'a offert aucune raie d'absorption ; il est vrai que je n'avais plus que deux grammes de terbine ainsi purifiée.

La détermination de son équivalent m'a ramené au nombre 115, que j'ai indiqué plus haut comme le plus probable.

Je ne terminerai pas cette notice sans exprimer ma conviction, semblable à celle de M. Delafontaine, que les résultats différents obtenus par d'autres chimistes doivent être attribués à ce qu'ils auront précipité la plus grande partie de la terbine par le sulfate de potasse avec les oxydes cériques. Il ne suffit pas, en effet, pour opérer la séparation des deux groupes de terres, d'ajouter à leur solution une solution concentrée de sulfate de potasse, jusqu'à ce qu'il ne s'y forme plus de précipité. Il faut de plus faire digérer ce précipité avec de nouvelles quantités de sulfate de potasse, et cela chaque fois pendant un ou deux jours, en agitant fréquemment, jusqu'à ce que la liqueur filtrée ne se trouble plus par l'addition d'acide oxalique. Cela exige des volumes très-considérables de la solution saturée de sulfate de potasse, surtout si l'on ne s'est pas gardé de toute application de la chaleur ou de l'emploi de dissolutions trop chaudes de ce sel au début de l'opération.

Il y a même avantage à recueillir à part toutes les dernières liqueurs qui donneront une terre très-jaune, riche en terbine.

---

# TRANSFORMATION

DES

# HYDROCARBURES BROMÉS DE LA SÉRIE DE L'ÉTHYLÈNE

EN

## BROMURES D'ACIDE DE LA SÉRIE GRASSE

PAR SIMPLE ADDITION D'OXYGÈNE

**Par M. E. DEMOLE**

---

J'ai publié il y a déjà deux ans passés [1] un premier mémoire sur les dérivés par substitution de l'oxyde d'éthylène.

La voie que j'ai choisie pour obtenir ces intéressants composés consiste à décomposer par la potasse alcoolique la bromhydrine bromée du glycol, obtenue par l'addition de l'éthylène bromé à l'acide hypobromeux ; dans cette réaction, de l'oxyde d'éthylène bromé où un polymère de ce dernier prend naissance, lequel me sert de point de départ pour l'obtention d'autres dérivés. Cette méthode est excessivement longue et le rendement est si mauvais, qu'après deux ans de travaux je ne suis pas encore parvenu à obtenir le corps

$$n\left(\begin{array}{l} \diagup \; CHOH \\ O \; | \\ \diagdown \; CH_2 \end{array}\right)$$

qui est le but de ces recherches.

Toutefois, j'espère que, d'ici à peu de temps, je pourrai communiquer de nouvelles expériences à ce sujet.

[1] Berichte der deutsch. chem. Gesellsch. zu Berlin, 1875, 45.

Parmi les nombreuses réactions entreprises pour obtenir un dérivé bromé de l'oxyde d'éthylène, il en est une que je dois signaler, car elle m'a conduit à des résultats tout à fait inattendus.

J'avais espéré que les hydrocarbures bromés de la série de l'éthylène, étant de leur nature des corps non saturés, pourraient peut-être additionner l'oxygène et fournir ainsi un oxyde d'éthylène mono, di ou tribromé.

$$\begin{matrix} CHBr \\ \| \\ CH_2 \end{matrix} + O = O \begin{matrix} \diagup CHBr \\ | \\ \diagdown CH_2 \end{matrix}$$

J'étais confirmé dans cette pensée par le fait que l'éthylène dibromé en présence de l'air subit une altération immédiate et profonde, en se changeant en une substance solide, laquelle ne paraît pas se former à l'abri de l'air.

Dans le double but d'établir la constitution de cette substance solide et de former un dérivé substitué de l'oxyde d'éthylène j'ai fait agir l'oxygène gazeux sec sur l'éthylène dibromé.

*Action de l'oxygène sec sur l'éthylène dibromé.*

La meilleure manière de préparer ce corps consiste à décomposer par l'acétate de potasse et un peu de carbonate de soude le dibromure de brométhylène en présence de l'alcool dilué par une ébullition de 24 heures [1]. On filtre alors, précipite par l'eau, sèche sur $Ca\,Cl_2$ à l'abri de l'air l'huile obtenue et rectifie. De cette façon l'éthylène dibromé ne renferme pas traces d'acétylène bromé, ce qui en revanche n'est jamais le cas lorsque la décom-

[1] $C_2H_3Br_3$ 1 mol. $C_2H_3KO_2$ 2 mol. $Na_2CO_3$ 1/2 mol. — Alcool dens. = 0,825 en excès.

position du corps $C_2H_3Br_3$ a eu lieu par la potasse. On a mis 50 grammes d'éthylène dibromé bouillant à 85-92°C., dans un ballon de 100 C.C. pouvant fermer par un bouchon de caoutchouc, puis l'on a chassé l'air du ballon par un courant d'oxygène sec, et après l'avoir refermé on a agité vivement pendant quelques minutes. Au bout de peu de temps la température du liquide s'est accrue et l'on a eu quelque difficulté à enlever le bouchon, ce qui était preuve de l'absorption de l'oxygène par l'éthylène dibromé. Une nouvelle portion de gaz fut introduite, l'on agita de nouveau, et la température s'accrut encore; cette dernière arriva bientôt aux environs de 55° C., toutefois pas au delà. Après avoir rempli le ballon d'oxygène 30 à 40 fois, le gaz ne fut plus absorbé et l'éthylène dibromé se trouva converti en un liquide jaune clair, fumant à l'air, d'une grande acidité et ayant légèrement augmenté de poids. Au fond du ballon on observa une très-petite quantité du corps solide, qui se forme si rapidement à l'air lorsque l'éthylène dibromé s'y trouve exposé.

Le contenu du ballon fut immédiatement soumis à la distillation fractionnée; avant 100° on obtint une très-faible quantité d'éthylène dibromé non altéré. Mais la presque totalité du liquide passa vers 150; après quelques rectifications, on eut un produit pur bouillant à 147-148° (non corr.). — Ce corps possède la formule et toutes les propriétés du *bromure de bromacétyle* [1].

$$C_2H_2Br_2O$$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| I. | Subst. 0.4933; | AgBr 0.9193 | | |
| II. | » 0.2896: | $CO_2$ 0.1225; | $H_2O$ 0.035 | |
| III. | » 0.2919 | » 0.124; | » 0.0344 | |

[1] M. Gal indique 152° C. pour le point d'ébullition de ce corps.

| | Trouvé I | Trouvé II | Trouvé III | Calculé pour $C_2H_2Br_2O$ |
|---|---|---|---|---|
| C | | 11.53 | 11.59 | 11.88 |
| H | | 1.34 | 1.30 | 0.99 |
| Br | 79.11 | | | 79.20 |

C'est un liquide incolore, d'une odeur piquante, fumant à l'air, se détruisant brusquement dans l'alcool et dans l'ammoniaque à la manière du chlorure d'acétyle quoique moins vivement. — Abandonné à l'air humide il dégage HBr et il cristallise un acide semblable en tous points à l'*acide bromacétique.* On a préparé une certaine quantité de ce dernier par ébullition du bromure de bromacétyle en présence de l'eau, on a évaporé la solution, puis on l'a distillée. Vers 200° C. on a recueilli un acide cristallisant de suite par refroidissement et possédant toutes les propriétés de l'*acide bromacétique* $C_2H_3BrO_2$)

I. Subst. 0.4698 ; Ag Br 0.6321
II. » 0.5780 ; $CO_2$ 0.360 ; $H_2O$ 0.1283

| | Trouvé I | Trouvé II | Calculé pour $C_2H_3BrO_2$ |
|---|---|---|---|
| C | | 17 | 17.26 |
| H | | 2.46 | 2.15 |
| Br | 57.25 | | 57.55 |

D'après ces expériences, on peut donc affirmer que l'éthylène dibromé agité avec l'oxygène sec, à la température ordinaire s'additionne à ce gaz, et, grâce à la transposition d'un de ces atomes d'hydrogène se convertit en bromure de bromacétyle.

$$\begin{array}{c} CHBr \\ \| \\ CHBr \end{array} + O = \begin{array}{l} CH_2Br \\ | \\ C = O \\ \quad \diagdown Br \end{array}$$

Cette réaction remarquable est intéressante à plus d'un titre. Elle montre tout d'abord d'une façon péremptoire l'étroite relation qui unit les hydrocarbures aux acides. Elle nous fournit ensuite un cas de transposition moléculaire opérée à une température qui arrive à peine à 55° C. ; il serait sans doute bien intéressant de pouvoir déterminer la quantité de chaleur qui a été fournie par le phénomène d'oxydation, et de connaître également celle produite par la transposition de l'atome d'hydrogène : mais pour le moment, ces déterminations seraient fort difficiles.

Enfin, envisagée à un point de vue purement pratique, cette réaction a une certaine importance, car pour l'obtention des dérivés bromacétylés, d'ordinaire difficiles à préparer, il sera beaucoup plus simple de faire usage de la présente méthode, qui grâce à l'action de l'oxygène transforme pour ainsi dire quantitativement l'éthylène dibromé en bromure de bromacétyle.

On sait que l'éthylène tribromé additionne le brome avec énergie ; on prétend même (Lennox) que ce corps au contact de l'air se transforme en une substance solide. Il était dès lors permis d'espérer qu'il s'unirait comme l'éthylène dibromé à l'oxygène sec, et c'est en effet ce qui se passe.

### *Préparation de l'éthylène tribromé.*

Lennox [1] qui a obtenu ce corps par l'action de la potasse sur le dibromure de dibrométhylène donne son point d'ébullition comme fixé à 130° C. En répétant les expériences de Lennox, il m'a été impossible d'obtenir un

[1] Chem. Soc. quart-journ., t. XIII, p. 206.

corps pur bouillant à 130°, mais en revanche à 161—163° C. j'ai obtenu une combinaison ayant la formule et les propriétés de l'éthylène-tribromé $C_2HBr_3$. Il faut savoir que la potasse alcoolique agissant sur le composé $C_2H_2Br_4$, à chaud surtout, donne lieu à de l'acétylène bromé, $C_2HBr$, à de l'éthylène dibromé et tribromé; c'est sans doute un mélange de ces deux derniers corps que Lennox a analysé, mélange dont le point d'ébullition peut fort bien être momentanément fixé à 130°.

Cette méthode qu'indique Lennox est fort désavantageuse, et j'ai cru bien faire en lui substituant la suivante :

On décompose le dibromure de dibrométhylène par l'acétate de potasse, le carbonate de soude et l'alcool, en employant les mêmes proportions que pour l'obtention du dibrométhylène, et en ayant soin que l'ébullition ne se ralentisse pas durant 24 heures. On filtre au bout de ce temps, précipite par l'eau, sèche et distille; parfois, il reste encore un peu du corps générateur bromé non altéré, mais, par quelques distillations on le sépare aisément.

On obtient ainsi un corps bouillant à 161—163° C. (non corr.) dont la densité à 0° est = à 2,69.

I. Subst. 0.4753; $CO_2$ 0.1484; $H_2O$ = 0.0212
II. » 0.5542; » 0.1795; $H_2O$ = 0.0246
III. » 0.2460; AgBr 0.5201

| | Trouvé | | | Calculé pour $C_2HBr_3$ |
|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | |
| C | 8.51 | 8.83 | | 9.05 |
| H | 0.49 | 0.49 | | 0.37 |
| Br | | | 89.97 | 90.56 |

Ce corps est décomposé par le mercure, déjà avant sa température d'ébullition.

*Action de l'oxygène sec sur l'éthylène tribromé.*

On opère identiquement comme pour l'oxydation de l'éthylène dibromé. Il vaut mieux ne pas travailler en grand, et choisir un vase qu'on puisse aisément entourer de la main, afin qu'une certaine chaleur lui soit communiquée; en outre, il faut introduire souvent de l'oxygène et secouer fortement de façon à produire la température la plus élevée possible. Malgré toutes ces précautions, il ne m'a pas été donné de pouvoir isoler tout à fait pure la nouvelle combinaison, attendu que son point d'ébullition est fort rapproché de 160° qui est celui de l'éthylène tribromé, et que ce dernier n'est pas entièrement transformé [1]. Toutefois j'ai pu me convaincre que le produit d'addition de l'éthylène tribromé à l'oxygène était bien du *bromure de dibromacétyle*, et voici comment :

La portion du liquide bouillant à 175—185, fume à l'air, se détruit par l'air humide en fournissant de l'acide HBr et un acide bromé qui ne cristallise pas (*acide dibromacétique*); décomposée par $NH_3$, cette portion se détruit rapidement en donnant une belle cristallisation de *dibromacétamide*. Avec l'eau bouillante, elle se dissout peu à peu à l'exclusion d'une petite quantité non altérable qui n'est autre que l'éthylène tribromé. La solution évaporée à siccité constitue un sirop acide ne cristallisant pas, bouillant avec décomposition vers 230° et formant, même en solution étendue avec le nitrate d'argent, une belle

[1] Il est bien probable qu'en opérant cette oxydation à 100°, on aurait une transformation radicale.

cristallisation nacrée qui après purification a été analysée :

I. Subst. 0.534 ; AgBr = 0.615.
II. » 0.178 ; $CO_2$ = 0.049 ; $H_2O$ = 0.05
III. » 0.245 ; $CO_2$ = 0.0654 ; $H_2O$ = 0.078

| | Trouvé | | | Calculé pour $C_2HO_2Br_2Ag$ |
|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | |
| C | | 7.50 | 7.28 | 7.38 |
| H | | 0.31 | 0.32 | 0.30 |
| Br | 48.99 | | | 49.23 |

Ce sel est donc le *dibromacétate d'argent*, et nous avons la preuve certaine que l'éthylène tribromé a additionné un atome d'oxygène pour se convertir en *bromure de dibromacétyle*.

$$\begin{array}{l} CHBr \\ \| \\ CBr_2 \end{array} + O = \begin{array}{l} CHBr_2 \\ | \\ C = O \\ \quad \diagdown Br \end{array}$$

Ici encore nous avons un phénomène d'oxydation et de transposition, mais il ne nous est pas permis de conclure si c'est un atome de brome ou un atome d'hydrogène qui s'est déplacé, car dans les deux cas nous obtenons le même corps. Pour élucider cette question, il faudrait faire agir l'oxygène sur le composé

$$\begin{array}{l} CHCl \\ | \\ CBr_2 \end{array}$$

car alors, par l'addition de l'oxygène, on obtiendrait

$$\begin{array}{l} CHClBr \\ | \\ C = O \\ \quad \diagdown Br \end{array} \quad \text{ou} \quad \begin{array}{l} CHBr_2 \\ | \\ C = O \\ \quad \diagdown Cl \end{array}$$

et l'on verrait si, dans les circonstances ci-dessus, c'est

l'atome de brome ou l'atome d'hydrogène qui se déplace de préférence.

Des essais faits pour transformer les composés

$$\begin{array}{c} CH_2 \\ \| \\ CHBr \end{array} \quad \text{et} \quad \begin{array}{c} CBr_2 \\ \| \\ CBr_2 \end{array} \quad \text{en}$$

$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ C = O \\ \diagdown Br \end{array} \quad \text{et} \quad \begin{array}{c} CBr_3 \\ | \\ C = O \\ Br \end{array}$$

sous l'influence de l'oxygène et à la température ordinaire n'ont pas abouti ; mais il est probable qu'en variant les conditions de température et de pression on arriverait aux mêmes résultats.

Ces recherches seront poursuivies dans les séries homologues de celles de l'éthylène, car si cette réaction se généralisait, elle pourrait être d'un certain secours pour élucider la constitution de plusieurs acides bromés.

L'étude des corps solides qui se forment lorsque les dérivés bromés de l'éthylène sont abandonnés à l'air fera l'objet d'un prochain mémoire.

Je considère ces corps jusqu'à présent comme des produits d'oxydation ménagée de leurs générateurs.

Vevey, 15 février 1878.

---

SUR LES FIORDS ET LES GLACIERS

# DU GROENLAND SEPTENTRIONAL

PAR

**M. A. HELLAND**[1]

---

Dans un long voyage exécuté dans la Norwége et le Groënland, M. Helland a étudié les divers phénomènes relatifs aux glaciers de cette région et a contrôlé la théorie de M. Ramsay et de quelques autres géologues anglais et américains sur l'affouillement glaciaire. Les observations ont été généralement favorables à cette théorie, et il leur consacre une partie importante de son mémoire. Nous nous bornerons à donner ici un extrait de la partie de ce travail relative aux fiords du Groënland, à la structure des glaciers et à leur mouvement.

La partie du Groënland septentrional parcourue par M. Helland s'étend de la colonie d'Egedesminde (60°, 42′, 9″ lat. N.) au fiord de Kangerdlugssuak (environ 71° 15′ lat. N.) dans le district de la colonie d'Umanak. Il a examiné les grands fiords de Jakobshavn et de Torsukatak auxquels aboutissent des glaciers considérables, et, parmi ceux de moindre importance, ceux de Sarkaardlek, d'Alangardlek et de Kangerdlugssuak, la vallée de Hartdlek près de Patiksok et beaucoup de glaciers du district d'Umanak.

[1] On the Ice-Fiords of North-Greenland and on the formation of Fjords, Lakes and Cirques in Norway and Greenland. Quart. Journ. of the geol. Soc., 1877, XXXIII, p. 142.

De même que la côte ouest de la Norwége, le Groënland est découpé par plusieurs grands fiords qui pénètrent profondément dans l'intérieur du pays. En face des fiords, près de la pleine mer, il y a un archipel d'îles plus ou moins grandes, parfaitement semblable aux archipels de Norwége.

La région littorale [1], qui n'est pas couverte de neiges éternelles, ressemble généralement d'une manière frappante à la côte ouest de la Norwége, soit par la nature des roches, soit par la conformation des îles. Les montagnes qui entourent les fiords varient beaucoup de hauteur; parfois ce ne sont que des collines de quelques centaines de pieds, parfois des montagnes de 4000 à 6000 pieds ou même davantage.

La partie du Groënland que nous décrivons ici peut se diviser géologiquement et orographiquement en trois districts :

1. La région qui entoure la baie de Disko est formée de gneiss. Son élévation n'est pas considérable ; dans la partie méridionale, sa hauteur atteint rarement 1000 pieds ; dans le nord cependant, elle s'élève jusqu'à 2000 pieds. Les îles qui longent la côte du district d'Egedesminde sont petites, basses et arrondies. Deux grands fiords remplis de glaces, celui de Jakobshavn dans la partie centrale, et celui de Torsukatak plus au nord, pénètrent profondément dans les terres. La structure de ce pays offre un contraste frappant avec celle de l'île de Disko, qui est composée de basalte et de terrains crétacés.

2. L'île de Disko et la péninsule de Nugssuak ont des rives moins découpées ; elles forment des plateaux basaltiques divisés en deux parties par le fiord de Waï-

[1] M. Helland nomme cette région : « le pays extérieur. »

gat. Cette région n'est parcourue par aucun grand glacier de la région intérieure; mais un grand nombre de glaciers descendent de l'île de Disko et de la péninsule de Nugssuak, dont le centre est élevé et couvert de neige, et où il y a des montagnes de 3 à 4000 pieds de hauteur. Les plus hautes montagnes de basalte du Groënland sont probablement situées dans la partie septentrionale de la péninsule où le Kelertinguak s'élève à 1857 mètres. L'île d'Ubekjendt, au nord de la péninsule de Nugssuak, est formée, comme celle-ci, de roches basaltiques.

3. La haute région d'Umanak consiste en une rangée de presqu'îles, découpées par des fiords remplis de glace, et bordées par des îles. Elle est formée en majeure partie de gneiss et de schistes azoïques; partout, même dans les îles, les montagnes s'élèvent à des hauteurs considérables. La petite île d'Umanak, située au milieu du fiord et n'ayant qu'un mille de long, s'élève à une hauteur de 1163$^{m}$ au-dessus du niveau de la mer. Les côtes sont escarpées et souvent inaccessibles. Les montagnes ont le caractère alpin ; quelques pics voisins de la mer s'élèvent à 2000 mètres. La région comprise entre Kangerdlugssuak et Ingnerit est spécialement remarquable par des pics escarpés, des montagnes élevées et de nombreux glaciers. Ce sont les montagnes les plus hautes de la côte ouest du Groënland qui soient visibles du bord de la mer; mais il est probable qu'il s'en trouve de plus hautes dans l'intérieur. La côte est découpée par huit fiords dont le plus septentrional et le plus méridional donnent naissance à des glaces flottantes de plusieurs centaines de pieds de hauteur.

*Les glaces intérieures.* Lorsqu'on remonte un fiord, le chemin est tôt ou tard barré par un glacier qui s'étend d'une rive à l'autre et se termine par une paroi escarpée d'où se détachent des glaces flottantes.

Parfois le glacier n'atteint pas le niveau de l'eau, mais il n'existe pas dans le Groënland un grand fiord ou une grande vallée qui ne contienne un glacier plus ou moins considérable. Celui-ci descend d'une vaste étendue de glaces intérieures dont les limites ne peuvent être précisées, mais qui couvre tout l'espace que le regard peut embrasser du sommet des montagnes environnantes. Cette grande nappe de glace qui porte le nom de *glace intérieure* couvre, autant qu'on en peut juger, tout l'intérieur du Groënland et occupe un espace plus grand que la péninsule scandinave. J'ai eu l'occasion de l'observer de cinq sommités différentes, de chacune desquelles elle offre l'aspect d'une grande mer; elle semble s'élever lentement au centre, formant une surface ondulée, entourée de montagnes. Je n'ai jamais constaté la présence de montagnes dans l'intérieur de cette région, mais il arrive souvent que des portions de terrains apparaissent comme des îles près des bords de la mer de glace ; les habitants leur ont donné le nom de *Nunataks* (dépendances du pays). A Kangerdlugssuak, par exemple, où les montagnes sont élevées et les bords des fiords escarpés, il y en a trois grands dont les bords sont presque verticaux.

J'ai observé de près les glaces intérieures au-dessus de Ilartdlek près de Pakitsok. Ici les montagnes dépassent de quelques centaines de pieds la mer de glace, de laquelle un immense glacier s'écoule presque jusqu'à la mer. On peut atteindre en ce point et parcourir sans grande difficulté la glace intérieure. Les accidents de

la surface ne dépassent guère six pieds de hauteur ; les crevasses sont peu nombreuses et assez étroites, mais plusieurs rivières qui ont creusé des lits semblables à des canaux et qui sont trop larges pour être traversées facilement, les sillonnent en diverses directions. L'eau en est claire et ne contient point de bone. Leur dimension dépend sans doute de la température ; quand il gèle, les rivières disparaissent probablement. La glace est granulée à sa surface, mais cette structure ne s'étend pas à une grande profondeur, car, en y faisant des entailles, on trouve très vite de la glace compacte avec des bulles d'air. La glace ordinaire est souvent traversée par des veines bleues. On observe, mais seulement près des limites des glaces intérieures, des cônes de sable et de gravier dont le centre est toujours formé de glace, ainsi que des trous cylindriques, dont la largeur atteint quelquefois $1^{m},50$, qui sont remplis d'eau claire et dont le fond est couvert d'une couche de gros cailloux et de gravier. J'ai vu aussi sur la glace une moraine étroite ayant à peine 6 pieds de haut, tandis que plus bas, à côté du glacier, une autre moraine mesurait 16 mètres. Cette description de la glace intérieure à Ilartdlek s'accorde sous tous les rapports avec celle qui a été donnée par le professeur Nordenskjœld de la glace intérieure au-dessus d'Aulatsivik; il en résulte qu'on trouverait probablement les mêmes caractères sur toute l'étendue qui sépare ces deux points.

La surface des grands glaciers est souvent trop fissurée pour qu'on puisse la parcourir; les crevasses n'ont cependant pas l'air de pénétrer profondément. Il est très difficile, sinon impossible, de déterminer l'épaisseur de cette masse de glace intérieure. A Ilartdlek, à quelques

kilomètres de la fin du glacier, la surface de la glace s'élève à une hauteur de 251 mètres, et son épaisseur ne dépasse probablement pas 200$^{m}$; il est possible qu'elle augmente dans l'intérieur du pays.

L'intérieur du Groënland a été si peu exploré qu'on est encore fort ignorant sur les limites de cette grande étendue de glace; celles de l'ouest, les plus proches des pays habités, sont les mieux connues. Les récits des anciens Norwégiens, des Esquimaux et des voyageurs modernes sont d'accord sur ce que, en avançant à l'est, on trouve partout la glace intérieure. On peut donc admettre comme une chose certaine que sa limite occidentale s'étend d'une manière continue des colonies septentrionales jusqu'au district de Julianehaab. En remontant les fiords de la côte orientale, on trouverait évidemment aussi des glaces intérieures, à en juger par l'abondance des glaces flottantes qu'on voit dans ces parages. On peut donc supposer que la glace qui alimente les glaciers de la côte ouest est continue avec celle d'où descendent les glaces flottantes de la côte est. L'existence de cette énorme étendue de glace est, il est vrai, une supposition, mais elle s'accorde avec les quelques observations qui ont été faites.

Les glaciers du district d'Umanak sont parmi les plus grands que l'on connaisse, et l'on ne peut expliquer leur présence qu'en supposant qu'ils sont alimentés par un plateau très étendu où la chute de neige est considérable; il ne peut donc guère y avoir dans l'intérieur du pays une grande étendue sans glace.

La conformation du sol sous la glace est inconnue; cependant il est possible de s'en faire une idée par l'analogie. On trouve, dans les écrits de quelques voyageurs

modernes, l'idée que le Groënland est une réunion d'îles, en d'autres termes, que l'archipel qui borde la côte représente en miniature le pays entier, où les îles seraient recouvertes par une couche de glace continue qui les relierait entre elles. Lorsqu'on connaît les fiords et leurs ramifications, on ne peut admettre cette opinion. Le Groënland est un pays de fiords, de même que la côte ouest de la Norwége et de l'Amérique du Nord, mais l'intérieur de ce pays a son analogue dans l'intérieur de ces deux contrées.

*Les glaciers des fiords.* Il existe entre les glaciers et les glaces du littoral les mêmes rapports qu'entre une rivière et le lac dont elle découle. Si elle est retenue par une écluse le niveau de celui-ci s'élèvera; de même si les fiords de glace sont barrés, l'épaisseur de la glace en amont augmentera jusqu'à ce qu'elle ait trouvé une issue. Nous pouvons diviser les fiords de glace en deux catégories, ceux qui produisent de grandes glaces flottantes, et ceux qui n'en produisent que de petites; leur conformation, celle des glaciers et la jonction de ceux-ci avec leur réservoir, est la même; mais la quantité de glace que les glaciers des grands fiords amènent à la mer est si considérable qu'elle motive cette distinction. Des cinq fiords du Groënland septentrional appartenant à la première catégorie, quatre sont situés dans le district que nous décrivons ici; celui de Jakobshavn et de Torsukatak, débouchent dans la baie de Disko; le grand Karajak et l'Umiamako (le grand Kangerdlugssuak de la carte du docteur Rink), se trouvent dans le district d'Umanak; deux fiords plus petits se trouvent dans la baie de Disko, celui d'Alangordlek et celui de Sarkardlek. Ils débouchent

dans deux branches du Tasuissak, latéral du Jakobshavn. Les suivants sont dans le district d'Umanak, entre le Grand Karajak au midi et l'Umiamako au nord : le Sermelek, le Slivdiarssuk, l'Inguerit, le Krangerdluarssuk et le Kangerdlugssuak. Le fiord de Jakobshavn est rempli par le grand glacier (situé d'après le docteur Rink sous le 69°,10′ latitude Nord) qui donne naissance aux glaces flottantes dans la baie de Disko; grâce au nombre immense de celles-ci, le fiord est inaccessible aux bateaux pendant l'été, la glace rendant presque impossible de voir l'eau, même d'une certaine élévation. On peut cependant atteindre le glacier par un chemin détourné. Sa surface est extrêmement crevassée; des aiguilles ont même parfois 50 pieds de hauteur; on peut le parcourir jusqu'à une centaine de pas de la côte du fiord, mais ici il est divisé en blocs escarpés, inaccessibles, séparés par d'énormes crevasses qui s'étendent dans toutes les directions; le glacier n'a pas de moraine latérale continue, mais il porte des blocs et de la boue près des bords. Les blocs sont très-rares dans sa partie centrale. La largeur du fiord varie, elle est de 4500 mètres là où elle a été mesurée. La longueur du glacier, du lieu où il se sépare du réservoir intérieur à son extrémité, est d'environ 21 kilomètres. Le point où le bord du fiord disparaît sous la glace intérieure, est à plus de 150 mètres au-dessus du niveau de la mer; la pente du glacier n'est pas tout à fait d'un demi-degré. Il est de niveau avec le glacier réservoir qui s'élève lentement vers l'intérieur.

Les montagnes de glace dépassent souvent l'extrémité du glacier de 30$^{m}$, car le mur de glace qui le termine s'élève à peine à 40$^{m}$ au-dessus du niveau de la mer. Dans ce cas, le point où le glacier finit et où commencent

les glaces flottantes s'observe facilement, car quoique sa surface soit très-fissurée, le contour de celles-ci est encore plus indistinct; du reste, la fin du glacier est indiquée clairement par une couche mince de poussière fine qui ne se trouve plus sur elles. Les bords du fiord de Jakobshavn ne sont ni raides, ni élevés, et il n'est pas difficile d'en suivre le côté sud.

La manière habituelle de se rendre compte de la progression d'un glacier en y fixant une rangée transversale de jalons ne peut s'appliquer aux glaciers des fiords qui sont inaccessibles; il faut donc la déterminer en mesurant les angles à partir d'une base fixe; les pics aigus sont très-favorables à ces observations. Les mesures prises sur le glacier de Jakobshavn du 7 au 8 juillet avec un bon théodolite ont donné les résultats suivants :

| Progression en 24 h. | Distance du point mesuré au bord du glacier. |
|---|---|
| $14^m,70$ | $400^m$ |
| $15^m,36$ | $420^m$ |
| $15^m,18$ | $445^m$ |
| $15^m,24$ | $449^m$ |
| $19^m,77$ | $1049^m$ |
| $19^m,54$ | $1059^m$ |

Là où le glacier touche le flanc de la montagne, la progression se mesure en fixant des pierres pointues dans la glace et en mettant dans le roc voisin des pierres semblables, de manière que leurs pointes se correspondent. On a observé ainsi que, près du bord, le glacier n'avançait pas plus de 0,02 mètre par jour. Ce glacier avance plus vite que tous ceux qu'on a observés jusqu'à présent. C'est d'autant plus surprenant que sa pente n'est que d'un demi-degré. Les mesures ont été prises pendant des jours d'été où la température s'élevait dans l'après-midi

à 10° C.; peut-être que dans des jours moins chauds le mouvement est plus lent, il doit cependant être considérable en hiver, car ainsi que le confirment les Groënlandais, les glaces flottantes se forment aussi dans cette saison.

Les petits fiords de glace d'Alangordlek et de Sarkardlek sont situés dans deux branches du Tasiussak, mais communiquent entre eux par un glacier nommé Akuleakatua. L'aspect général de ce dernier ressemble à celui du glacier de Jakobshavn; avec la différence que les phénomènes y sont sur une plus petite échelle, sauf les moraines qui sont plus grandes. La progression est très-lente relativement à celle que j'ai indiquée plus haut; elle ne peut être mesurée exactement dans un court espace de temps à cause de la petite variation angulaire; mais le glacier de Alangordlek n'avance pas de plus de 0,5$^{m}$, celui de Akuleakatua pas de plus de 0,4$^{m}$ par jour.

Le fiord de Torsukatak (69°,50′ lat. N., d'après le docteur Rink) envoie ses glaces flottantes à travers le Waïgat. Ce glacier descend à la mer en quatre bras séparés par plusieurs *nunataks :* de grandes glaces se détachent du bras le plus septentrional, tandis que les autres ne semblent en produire que des petites. Ce glacier a environ 9000$^{m}$ de large et se termine par un mur uni, vertical d'à peu près 15$^{m}$ de haut. Le fiord qui se trouve au-dessous est complétement rempli de glaces flottantes. La fin du glacier n'est séparée que par une petite distance de la région recouverte par les glaces intérieures. Ce n'est que sur le bord du glacier qu'on trouve des pierres et des blocs erratiques; le milieu, qui est la partie la plus crevassée, en est dépourvu; l'inclinaison de la surface est inférieure à deux degrés; voici les résultats des observa-

tions faites sur la vitesse de sa marche du 24 au 25 juillet, pendant 21 heures :

| Vitesse par jour. | Distance du bord du glacier. |
|---|---|
| $3^m,75$ | $210^m$ |
| $5^m,66$ | $367^m$ |
| $8^m,82$ | $1926^m$ |
| $10^m,10$ | $4070^m$ |
| $10^m,16$ | $4939^m$ |
| $9^m,35$ | $4968^m$ |

Ce glacier n'a que la moitié de la vitesse de celui de Jakobshavn.

Le fiord de Kangerdlugssuak, situé dans le district d'Umanak, est de grandeur moyenne et produit des glaces flottantes qui ne sont cependant pas assez nombreuses pour empêcher d'atteindre le glacier en bateau. La vue en est magnifique; les montagnes s'élèvent à pic à une hauteur de $2000^m$. Leur sommet est divisé en pics aigus entre lesquels descendent de nombreuses vallées remplies de glace. Il est difficile de se représenter un paysage plus couvert de glaces. De l'ouverture du détroit qui sépare l'île d'Upernivik de la terre ferme jusqu'à la base du grand glacier qui descend des glaces intérieures, il y a une grande journée de route pendant laquelle il n'y a pas moins de 47 glaciers à traverser.

Les montagnes de ce fiord, quoique un peu moins hautes que celles du détroit près de l'île Upernivik, s'abaissent dans l'eau d'une hauteur de $1000^m$ sous un angle de 80°. Le glacier se termine comme toujours par un mur abrupt qui, en avançant dans le fiord, forme une ligne convexe, de façon que la partie centrale dépasse de quelques milliers de mètres les deux côtés. La seule place abordable près du glacier est la moraine. Le glacier même est, comme les autres, déchiré par des crevas-

ses et impossible à traverser ; la moraine s'élève ici à une hauteur de 15 à 20 mètres. Le regard peut la suivre à une grande distance ; mais la vue sur la glace intérieure même est en partie cachée par trois masses de rochers (*nunataks*) qui s'élèvent comme de hautes îles au-dessus du glacier et entre lesquelles descendent des bras de la glace intérieure qui forment le glacier de Kangerdlugssuak.

Quoique le climat du Groënland septentrional soit plutôt sec, les grands glaciers y sont nombreux ; ce qui montre qu'une quantité de neige considérable n'est pas absolument nécessaire à la congélation d'une grande contrée. Il est remarquable de voir que les glaciers sont alimentés par un réservoir de glace qui est, au moins en grande partie, au-dessous de la limite des neiges éternelles. Cette limite est sans doute difficile à déterminer ; dans le district d'Umanak, par exemple, on trouve en été des masses de neige près de la mer ; dans l'île d'Upernivik, même au milieu d'août ; mais j'ai gravi les ardoises et les grès jusqu'à une hauteur de 750 pieds au-dessus de la mer sans rencontrer de neige. A cette hauteur se trouve un plateau s'élevant à 890 mètres, mais qui n'est que parsemé de quelques flaques de neige ; la limite des neiges éternelles dans cette île est donc au-dessus de 890 mètres. Dans les montagnes sur le bord opposé du fiord d'Umanak à l'est de la montagne de Kelertingnak, on ne trouve la neige éternelle qu'au-dessus de 700 mètres. Au-dessus du glacier de Sermiarsut, la limite était à 970 mètres, entre les glaciers d'Assakak et d'Umiatorfik à 800 mètres, et entre ce dernier et le glacier de Sorkak à 760 mètres.

En comparant ces chiffres avec la hauteur de la glace intérieure, là où elle a été mesurée, nous voyons que la limite des neiges éternelles est plus élevée que celle-ci.

On peut par conséquent mettre en doute si les glaciers se reformeraient sous les influences du climat actuel dans le cas où ils auraient disparu du pays. Le mode d'avancement, je l'ai déjà fait remarquer, a une influence importante sur la théorie du mouvement des glaciers. La pente du glacier de Jakobshavn, dont la progression extraordinairement rapide est de 20 mètres par jour, n'étant que d'un demi-degré, l'inclinaison du fond de la vallée ne peut être la cause principale du mouvement. Cette vitesse considérable doit dépendre de la pression exercée par la masse des glaciers réservoirs. Malgré le mode d'avancement, le temps que réclame le passage de la glace de l'intérieur du pays à la mer, doit être long. Il faudrait quatre ans à la glace du glacier de Jakobshavn pour venir des bords de la glace intérieure à la mer (21 kilomètres); mais il faudrait bien plus de temps pour transporter à la mer la neige qui tombe dans l'intérieur du pays. Entre la côte est du fiord Empereur François-Joseph et la côte ouest de celui d'Upernivik, il y a une distance d'environ 890 kilomètres. Si donc une masse de glace, se mettant en mouvement à mi-chemin, s'avance jusqu'au glacier de Jakobshavn à raison de 15 mètres par jour, il s'écoulerait plus de 81 ans avant qu'elle atteigne le fiord; et il est très-probable que la glace intérieure est loin de se mouvoir avec la même vitesse que les glaciers qui en découlent.

Le docteur Rink a publié, dans son excellent ouvrage sur le Groënland, une carte de la partie sud du fiord d'Umanak, en y montrant l'extension de plusieurs glaciers dans l'année 1850 et y notant la distance exacte qui les séparait alors de la mer. J'en ai visité six en comparant leurs distances avec celles qui étaient indiquées. Pour trois

d'entre eux j'ai observé des variations, dont une considérable.

Le glacier d'Assakak était en 1850 à une distance de 251 mètres de la mer; en 1875 son extrémité était tellement couverte de pierres qu'en plusieurs endroits je ne pouvais distinguer la moraine du glacier; mais nulle part il ne s'approchait de plus de 500 mètres de la mer, de façon qu'en 25 ans il s'était retiré d'environ 250 mètres.

Le glacier d'Umiatorfik était en 1850 à une distance de 372 à 502 mètres de la mer; en 1875 la distance était de 322 mètres, il aurait donc avancé.

Le glacier de Sorkak est un exemple des plus remarquables de variations dans un laps de temps comparativement court. En 1850 le bout en était complétement caché par du gravier et des pierres, et la glace ne se montrait qu'à plusieurs centaines de mètres de la mer sur l'emplacement d'un vieux bâtiment. Quand je visitai ce glacier en 1875, il avait avancé dans la mer, et il finissait par un mur de glace d'environ 25 mètres de haut. Le docteur Rink déclare tenir des Groënlandais que ce glacier entrait autrefois dans la mer; dans le cours de deux générations, il a donc avancé et reculé de plusieurs centaines de mètres; par conséquent les glaciers qui se trouvent le long de la côte sud du fiord d'Umanak ne prouvent pas une augmentation régulière de la glace dans le Groënland septentrional.

*Les glaces flottantes et leur formation.* Les formes des glaces flottantes sont très-diverses; comme elles ont souvent été décrites il est inutile d'entrer dans beaucoup de détails. Leur surface est habituellement propre; çà et là on y voit des blocs, et de temps en temps on en trouve de

petites toutes couvertes de pierres et de gravier. La coupe d'un fiord de glace[1] permet de comprendre le mode de leur formation, procédé qui a souvent été expliqué et auquel nous n'avons pas à nous arrêter. J'ai assisté à deux reprises à ce phénomène dans les fiords de Jakobshavn et de Torsukatak. Dans le premier, il fut accompagné d'un terrible craquement et de la projection de nuages blancs de glace pulvérisée.

En même temps une énorme masse de glace fendue qui formait une partie du mur terminal du glacier, se retourna de manière qu'en opérant ce mouvement, sa crête se trouva à une grande hauteur au-dessus du niveau du glacier. Beaucoup d'aiguilles furent brisées et les fragments tombèrent comme une pluie en craquant. Puis ce phénomène se propagea à une autre partie du glacier. Une seconde grande masse se détacha et commença par se mouvoir presque horizontalement à raison d'un mètre par seconde environ; puis elle se fendit en pyramides. Il se forma ainsi simultanément sur diverss points plusieurs glaces flottantes; des nuages d'écume blanche cachaient en partie le glacier, et tout près de lui d'anciennes montagnes de glace se mirent en mouvement; il y avait une confusion indescriptible et des craquements continuels qui durèrent une demi-heure ; puis tout redevint tranquille. Une de ces glaces avait 89 mètres de haut.

Pour estimer la quantité de glace déchargée par un fiord, il nous faut connaître l'épaisseur, la largeur et le mode d'avancement du glacier. On ne peut mesurer directement que l'épaisseur visible au-dessus de la mer. Des

[1] La coupe donnée par M. Helland a déjà été reproduite dans les *Archives*, 1876, t. LVII, pl. 3.

expériences ont prouvé que dans les fiords du Groënland, 0,86 d'une montagne flottante est au-dessous et 0,14 au-dessus de la mer, et que la partie sous l'eau est à peu près $^6/_7$ du tout. On a mesuré la hauteur de plusieurs montagnes de glace. De toutes celles de l'embouchure du Jakobshavn, trois dépassent 83 mètres, la plus élevée ayant 121 mètres. J'estime que celle-ci avait 3,000,000 mètres cubes de glace au-dessus de la mer, et que toute la masse avait 21,000,000 mètres cubes. La profondeur du fiord de Jakobshavn est d'environ 390 mètres. A l'aide de ces chiffres nous essayerons d'estimer la quantité de glace déchargée par ce fiord. La hauteur du glacier au-dessus de la mer à l'endroit où il se brise est d'environ 40 mètres. Ici son épaisseur entière doit donc être au moins sept fois aussi considérable que cette hauteur ; car s'il flottait et s'il était, par conséquent, moins épais, il n'y aurait point de fractures : il en résulte qu'à cet endroit l'épaisseur du glacier doit être d'au moins 280 mètres. Il n'avance que de $14^m,25$ par jour. La largeur du fiord est de 4500 mètres, ses côtés ont une pente de 20°, sa section transversale a donc un peu plus de 1,000,000 de mètres carrés, de sorte que la quantité de glace qui passe en été par ce fiord est à peu près de 16,000,000 mètres cubes. Nous trouvons de la même manière que le glacier de Torsukatak décharge 6,300,000 mètres cubes de glace par jour. L'écoulement journalier qui se fait par le fiord de Jakobshavn n'équivaut qu'à une grande montagne de glace, malgré le mouvement rapide du glacier. Ce fait étonnera peut-être ceux qui ont vu pendant un soir d'été le grand nombre de glaces flottantes passer par le fiord de Jakobshavn ; mais il faut se rappeler que toutes celles qui se sont formées pendant un long hiver se

dégagent pendant un très court été. Il est vrai que le mouvement du glacier diminue probablement en hiver, de façon que la quantité déchargée un jour d'été ne nous permet pas de déduire directement celle de toute l'année. Si le mode d'avancement était toujours le même, le glacier de Jakobshavn déchargerait annuellement 5,800,000,000, le glacier de Torsukatak 2,300,000,000 mètres cubes. Il n'est pourtant pas probable que la quantité produite annuellement ne soit que la moitié de celle que nous venons de citer, car il faudrait pour cela que le glacier fût immobile pendant les trois mois d'hiver. Nous pouvons donc admettre que la quantité de glace produite chaque année par le fiord de Jakobshavn varie entre 2,900,000,000 et 5,800,000,000 et celle du fiord de Torsukatak entre 1,150,000,000 et 2,600,000,000 mètres cubes. En calculant de la même manière ce que déchargent les fiords moins considérables, celui d'Alangordlek, par exemple, nous voyons que c'est à peine la centième partie de ce que produit le fiord de Jakobshavn.

Quelque grandes que soient les quantités de glace qui s'écoulent ainsi annuellement par les fiords, elles ne sont qu'une petite portion de la pluie et de la neige qui tombent dans l'intérieur du Groënland et dont la plus grande partie s'écoule en rivières sous les glaciers. Le docteur Rink estime qu'un grand fiord décharge chaque année un ou plusieurs milliers de millions d'aunes cubes de glace et que ce chiffre est bien inférieur à la quantité de pluie et de neige qui tombe dans l'intérieur du Groënland. Même si nous changeons les aunes en mètres, la proportion sera toujours beaucoup moins considérable que celle qui s'écoule en eau sous les glaciers.

---

# RECHERCHES

SUR

# L'ABSORPTION DES RAYONS ULTRA-VIOLETS

## PAR DIVERSES SUBSTANCES

**Par M. J.-L. SORET**

---

L'analyse spectrale par absorption qui a rendu déjà de si grands services à la chimie, a presque toujours été limitée à la partie visible du spectre. En l'étendant à la partie ultra-violette on arriverait sans aucun doute à des résultats importants. Les recherches qui jusqu'ici ont été faites dans cette direction, sont peu nombreuses; cependant, à côté de faits épars dans divers ouvrages, on doit à M. Ed. Becquerel, à M. Stokes et à M. Miller, de beaux travaux sur l'absorption de ces rayons.

Les observations déjà fort anciennes de M. Becquerel [1] ont été faites sur la lumière solaire qui, comme on le sait, ne contient pas les radiations très-réfrangibles que l'on obtient avec la lumière de l'étincelle électrique.

Dans son célèbre mémoire intitulé : « On the long spectrum of electrical light [2], » M. Stokes a examiné au point de vue qui nous occupe, divers corps solides ou liquides et il a fait en particulier une étude très-intéressante sur

[1] Effets produits sur les corps par les rayons solaires. — *Annales de Chimie*, 1843, t. IX, p. 257.

[2] *Philosophical Transactions*, 1862, p. 599.

les spectres d'absorption ultra-violets des alcaloïdes, glucosides, etc. — Il a opéré en projetant sur un écran fluorescent les spectres produits par l'étincelle électrique entre des électrodes formées de divers métaux, et en interposant les corps qu'il voulait étudier sur le passage des rayons. Lorsqu'il opérait sur des liquides, il les plaçait dans une auge fermée par des lames de quartz.

M. Miller [1] a employé la méthode photographique qu'il a appliquée à un grand nombre de corps solides, liquides ou gazeux. Son remarquable travail est à ma connaissance ce qui a été fait de plus complet sur le sujet [2].

L'emploi du spectroscope à oculaire fluorescent que j'ai précédemment décrit [3], facilite énormément ce genre d'observations et permet d'opérer sur le spectre ultra-violet dans toute son étendue avec presque autant de facilité qu'on peut le faire pour les rayons visibles. Il suffit d'être muni d'un instrument à lentilles et prisme de quartz et d'un bon appareil d'induction pour pouvoir étudier, au point de vue de l'absorption, cette multitude de corps qui sont *incolores,* dans le sens ordinaire de ce mot, mais dont la plupart sont *chroïques* c'est-à-dire interceptent une partie des rayons invisibles. On sait que la partie directement visible du spectre comprend des radiations dont les longueurs d'onde varient dans le rapport de deux à un environ; le rapport est à peu près le même pour les limites des rayons ultra-violets. Donc, en les utilisant, on double le champ de l'analyse spectrale.

C'est là ce qui m'a engagé à entreprendre quelques re-

[1] On the photographic transparency of various bodies, etc. — *Philosophical Transactions*, 1862, p. 861.

[2] Voyez *Archives des Sc. phys. et nat.*, 1876, t. LVII, p. 319 et *Annales de chimie*, 1877, t. XI, p. 72.

cherches sur l'absorption de diverses substances. Mes observations, pour la plupart, ont porté sur des corps à l'état liquide. Il est à peine besoin de dire que cette première étude est excessivement restreinte et imparfaite ; en effet pour déterminer, sous diverses épaisseurs ou à divers états de dilution, les propriétés de transparence et d'absorption des milliers de corps que l'on connaît, il faudrait un travail énorme qui, s'il s'effectue jamais d'une manière complète, exigera les efforts de nombreux observateurs.

### *Méthode expérimentale.*

Je n'ai pas à insister longuement sur la méthode expérimentale que j'ai suivie.

Comme source de lumière j'ai employé les étincelles d'un appareil de Ruhmkorff excité par une machine magnéto-électrique dont l'emploi est très-commode en fournissant aussi longtemps qu'on le désire un courant d'intensité constante [1]. Une batterie de quatre grosses bouteilles de Leyde est reliée aux pôles du fil induit.

J'ai opéré avec divers spectres métalliques en faisant varier, suivant les cas, les électrodes entre lesquelles jaillissent les étincelles. Je me suis principalement servi : 1° de

[1] Nous avions déjà employé cette disposition dans les recherches que nous avons faites, M. Sarasin et moi, sur la polarisation rotatoire du quartz. La machine magneto-électrique placée dans les ateliers de la *Société genevoise pour la Construction d'instruments de physique*, envoie le courant dans notre laboratoire situé dans une maison voisine. La vitesse de la machine est réglée de manière que l'appareil de Ruhmkorff, obligeamment mis à notre disposition par M. Perrot, donne des étincelles de 15 centimètres de longueur environ.

deux électrodes de cadmium, métal dont M. Mascart a déterminé les longueurs d'onde pour les raies principales; 2° d'une électrode de cadmium avec une électrode de zinc; on augmente ainsi le nombre des raies brillantes, et en particulier on obtient trois raies plus réfrangibles que celles du cadmium; 3° d'une électrode de fer avec une électrode de cadmium : la multitude des raies du fer forme un spectre presque continu et très-étendu, sur lequel se détachent les raies plus éclatantes du cadmium ; 4° d'électrodes en aluminium qui donnent des raies plus réfrangibles encore que celles du zinc ; seulement ces raies, et surtout la dernière, sont près de la limite de transparence du quartz et ne peuvent pas souvent être utilisées.

Le support qui porte les électrodes est placé sur un banc d'optique ; il est doué de divers mouvements permettant de modifier la position des étincelles et l'écartement des électrodes. Un autre support placé aussi sur le banc d'optique, porte une lentille en quartz à très-court foyer qui concentre les rayons sur la fente du spectroscope ; on fait varier la distance de cette lentille de manière à obtenir le maximum de lumière pour les raies que l'on observe.

Je me suis servi d'un spectroscope du modèle de Steinheil [1] ; son collimateur et sa lunette sont munis de lentilles de quartz d'environ 33 centimètres de distance focale pour la raie D. Le prisme est en quartz de 60° taillé les arêtes perpendiculaires à l'axe. On doit modifier con-

[1] Celui que j'ai précédemment décrit (*Archives*, 1876, t. LVII, p. 326 ; *Annales de chimie*, 1877, t. XI, p. 79); il a seulement été modifié de manière à rendre le tirage des lunettes suffisant pour tous les cas.

sidérablement le tirage du collimateur et de la lunette suivant la réfrangibilité des raies que l'on observe.

Dans certains cas il est préférable de supprimer le collimateur et la lentille de concentration à court foyer; puis de placer les étincelles à une distance d'un mètre et demi à deux mètres du prisme. Le spectre se compose alors d'images successives de l'étincelle, petites et très-nettes.

Comme lame fluorescente placée dans l'oculaire, je me suis habituellement servi d'une couche d'esculine en dissolution dans l'eau, comprise entre une lame de quartz du côté où arrive la lumière et une lame de verre du côté oculaire. Dans ces conditions, la fluorescence est sensiblement plus intense qu'avec le verre d'urane.

Le corps dont on veut observer l'absorption est placé devant la fente du spectroscope, ou près des étincelles si l'on supprime le collimateur. Pour les liquides j'ai employé : 1° une auge formée dans une plaque de verre épaisse fermée par deux lames de quartz ajustées par pression sans aucun mastic; l'auge est facile à nettoyer; la couche liquide a 1 centimètre d'épaisseur; 2° d'un tube de verre de 10 centimètres de longueur, fermé aux deux bouts par deux lames de quartz, ajustées aussi par pression sans mastic; 3° d'un grand tube de verre de $1^m,16$ de longueur, portant à ses extrémités des plaques de laiton percées d'un trou, sur lesquelles on a collé des lames de quartz avec du baume du Canada.

Pour préciser les diverses parties du spectre transmises ou absorbées, le mieux serait d'indiquer les longueurs d'ondulations correspondantes; mais cette donnée fait jusqu'ici défaut pour les raies les plus réfrangibles du cadmium, du zinc et de l'aluminium. Je me bornerai donc provisoirement à désigner les diverses parties du spectre

par des raies numérotées de 1 à 32. Les 25 premiers de ces numéros sont ceux que M. Mascart a assignés aux principales raies du cadmium; la 26$^{me}$ raie appartient aussi au cadmium, mais elle n'a pas été mesurée par M. Mascart. Les raies 27, 28 et 29 sont les trois dernières du zinc; les raies 30, 31 et 32 (celle-ci double) sont les trois dernières de l'aluminium[1].

Les raies 1 à 7 sont lumineuses; la 8$^{me}$ qui est mal définie et qui est probablement une raie de l'air, est à la limite qui sépare le visible de l'ultra-violet; elle est un peu moins réfrangible que H du spectre solaire. Les raies 19 et 20 sont, je crois, des raies de zinc plutôt que du cadmium. Les raies 22 et 23 sont très-rapprochées l'une de l'autre.

La figure 1, Pl. v donne le dessin schématique de ces raies pour la partie violette et ultra-violette; l'angle de déviation (au minimum) pour un prisme de quartz de 60° est indiqué au-dessus du dessin, à l'échelle de 12$^{mm}$ pour 1 degré. La position de quelques raies solaires est aussi indiquée.

### *Essais préliminaires.*

Pour prendre un premier aperçu des faits, j'ai examiné le pouvoir absorbant d'un grand nombre de liquides, ou de solides en dissolution, que je plaçais devant la fente du spectroscope dans l'auge de 1 centimètre de vide intérieur. J'ai pris ces corps à peu près au hasard, sans trop me préoccuper de leur absolue pureté et de leur degré de

[1] Dans un travail récent, M. Sarasin a donné les indices du quartz pour la plupart de ces raies désignées de la même manière. *Archives*, Janvier, 1878, t. LXI, p. 109.

concentration. La plupart des dissolutions étaient à peu près saturées[1].

Sauf pour l'eau, je n'ai pas fait usage du spectre de l'aluminium; je me suis borné aux raies du cadmium et du zinc.

Je donne dans le tableau suivant les résultats de ces observations préliminaires qui me paraissent présenter quelque intérêt; en effet, si, comme on doit le présumer, la présence d'impuretés a exercé quelque action, cette influence n'a pu se produire que dans le sens d'une augmentation du pouvoir absorbant. On peut donc admettre que ces corps absolument purs laissent bien passer les rayons que je donne comme transmis; mais il est moins certain qu'ils absorbent toutes les radiations que j'indique comme interceptées.

Dans la plupart des cas c'est sur les rayons les plus réfrangibles que s'exerce l'absorption, en sorte que le spectre est transmis jusqu'à une raie déterminée, toutes les raies suivantes étant interceptées. Il arrive habituellement que les dernières raies transmises sont affaiblies : c'est ce qu'on a indiqué dans le tableau en plaçant le numéro de la raie entre parenthèses si l'affaiblissement est notable, et entre crochets si la raie est difficilement visible. — Les noms des substances qui avaient déjà été examinées par M. Miller, sont marquées d'un astérisque.

[1] M. de Marignac et M. E. Ador ont eu l'obligeance de mettre à ma disposition une grande partie de ces substances.

*Absorption sous une épaisseur de 1 centimètre*

| NOM DES SUBSTANCES. | SPECTRE. Transmis jusqu'aux raies. | SPECTRE. Intercepté depuis la raie. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|
| * Eau distillée. | 31 | ? | L'auge vide ne laisse pas voir 32. |
| * Eau de mer. | 24 (25) (26) | 27 | |
| * Acide chlorhydrique. | (24) (25) [26] | 27 | Acide concentré pur (du commerce). |
| » | 25 (26) [27] | 28 | Même acide, étendu de son volume d'eau. |
| » | 25 (26) [27] | 28 | Même acide, étendu de trois fois son volume d'eau. |
| » | (27) [28] | 29 | Même acide, étendu de sept fois son volume d'eau. |
| * Chlorure de potassium. | 24 (25) (26) | 27 | Dissolutions assez concentrées, pureté douteuse. |
| » sodium. | (23) | 24 | |
| * » baryum. | (24) (25) (26) | 27 | |
| * » strontium. | (25) (26) [27] | 28 | |
| * » calcium. | 24 (25) (26) (27) | 28 | |
| » magnesium | (17) [23] | 24 | Dissolution à 25 % de sel. |
| » » | (23) [24] | 25 | » 12,5 % de sel. |
| » potassium. | 26 (27) | 28 | Produits purs contenant tous la même quantité de chlore (10 gr. pour 160 d'eau). Il est possible que les résultats soient influencés par l'effet des filtrations. |
| » sodium. | (23) [24] | 25 | |
| » lithium. | 23 (24) [25] | 26 | |
| » baryum. | 27 (28) | 29 | |
| » strontium. | 26 (27) [28] | 29 | |
| » calcium. | (23) (24) | 25 | |
| » magnesium | (27) [28] | 29 | |
| * » ammonium | 23 (24) | 25 | Saturé. |
| » » | 25 (26) | 27 | Moins concentré. |
| * » manganèse | 9 (10) (11) | 12 | |
| » nickel. | 14 (15) | 16 | Intercepte aussi le rouge du spectre. |
| » cobalt. | (17) | 18 | Bande d'absorption dans le vert-bleu. |
| » lanthane. | 24 (25) | 26 | |
| » cuiv^re^ ($Cu\,Cl^2$) | ..... | .. | Vert foncé; ne laisse passer que le vert et le jaune. |
| » » | ..... | .. | Plus étendu, vert-bleu, trouble, laisse passer du rouge à l'indigo. |
| * » merc. ($Hg\,Cl^2$) | 17 | 18 | |
| » plat^ne^ ($Pt\,Cl^4$) | ..... | .. | 1 gr. de Pt dans 5 cc.; laisse passer du rouge au vert. |
| » » | ..... | .. | Étendu; jusqu'au bleu. |
| » » | 8 [9] | 10 | Très-étendu. |
| * Iodure de potassium. | 16 | 17 | |
| * Cyanure de potassium. | (17) [18] | 19 | |
| * id. mercure. | (18) (20) (23) | 24 | Saturé. |
| * Sulfocyan. de potass. | (15) | 16 | |
| * Potasse caustique. | (17) (18) (19) [20] | 21 | Concentrée. Cont^nt^ du carbona^te^ |
| id. | 18 19 20 (21) | 22 | Étendue de son volume d'eau. |

*Absorption sous une épaisseur de 1 centimètre*

| NOM DES SUBSTANCES. | SPECTRE. Transmis jusqu'aux raies. | SPECTRE. Intercepté depuis la raie. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|
| * Ammoniaque. | 17 | 18 | Concentrée, impure. (voy. le paragr. relatif à l'ammoniaque) |
| * Acide sulfurique. | (24) | 25 | Concentré. Affaiblissement depuis 12. |
| id. | (29) | | $SO^3 H^2O + 5 Aq$. |
| * Sulfate de soude. | (28) | 29 | |
| » magnésie. | 24 (25) | 26 | |
| * » zinc. | 10 (11) | 12 | |
| * » manganèse. | (24) | 25 | |
| » cadmium. | 20 | 22 | |
| » cobalt. | (23) (24) | 25 | 62 gr. dans 550 d'eau. |
| » cérium. | 12 | 13 | |
| » didyme. | (23) | 24 | Affaiblissem^ent de la raie 10. Voir plus loin. |
| * » cuivre. | 12 (13) | 14 | Intercepte le rouge. |
| * Alun. | (24) | 25 | |
| Acide azotique. | 10 (11) | 12 | Concentré. |
| * Azotate de potasse. | 10 (11) | 12 | |
| * » de soude. | 10 (11) | 12 | |
| * » de baryte. | 10 (11) | 12 | |
| * » de chaux. | 10 (11) | 12 | |
| * » de magnésie. | 10 | 11 | |
| » de cobalt. | 10 | 11 | |
| » d'urane. | 10 (11) | 12 | |
| * » de plomb. | 10 (11) | 12 | |
| * » de mercure. | 9 (10) | 11 | |
| * » d'argent. | 10 | 11 | |
| * » de bismuth. | 10 | 11 | |
| » de didyme. | 9 (10) (11) | 12 | Peu concentré. |
| Azotite de potasse. | 7 | 8 | Probable^ment mélangé d'azotate. |
| * Acide phosphorique. | 13 | 14 | |
| * Pyrophospha^te de soud^e | (21) [22] | 23 | Affaiblissement depuis 15. |
| * Acide arsénique. | 13 | 14 | |
| » arsénieux. | 26 | 27 | |
| * » borique. | 24 (25) (26) [27] | 28 | |
| * Borate de soude. | 23 [24] | 25 | |
| Acide carbonique. | (27) (28) (29) | | Dissous dans l'eau. |
| * Carbonate de potasse. | 21 | 22 | |
| * » de soude. | 21 | 22 | Concentré. |
| » » | 21 | 22 | Étendu de son vol^me d'eau (transmis jusque près de 22). |
| » » | 22 (23) | 24 | Étendu de 3 fois son vol. d'eau. |
| * Bicarbonate de soude. | 21 | 22 | |
| * Carbon. d'ammoniaque. | 19 (20) | 21 | |
| * Quadroxalate de pot^sse. | 14 | 15 | |
| Acide sulfureux. | 11 [12] | 13 | Dissolution aqueuse concentrée |
| * Sulfite de soude. | 17 | 18 | Impur. |
| * Chlorate de potasse. | (24) | 25 | |
| » de soude. | 17 (18) (19) (20) | 21 | |

*Absorption sous une épaisseur de 1 centimètre*

| NOM DES SUBSTANCES. | SPECTRE. Transmis jusqu'aux raies. | SPECTRE. Intercepté depuis la raie. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|
| * Sulfure de carbone. | 8 | 9 | |
| Prussiate jaune de pot$^{sse}$ | 9 (10) | 11 | Dissolution très-étendue. |
| * Alcool absolu. | 24 (25) [26] | 27 | 98 %. |
| » rectifié. | 26 (27) (28) | 29 | |
| * Oxyde d'éthyle. | 19 | 20 | |
| Bromure d'éthyle. | 15 (16) | 17 | |
| * Éther éthyle acétique. | (16) [17] | 18 | |
| Éther éthyl-valérianique. | 17 [18] | 19 | |
| * Alcool méthylique. | (17) [18] | 19 | |
| Iodure de méthyle. | 8 | 9 | |
| Alcool amylique. | 9 10 | 11 | |
| Chlorure d'amyle. | 17 (18) | 19 | |
| Éther amylacétique. | 9 (10) | 11 | |
| Acétone. | 11 | 12 | |
| Hydrate de butylène. | 20 | 21 | $C^4 H^8 H^2O$. |
| * Acide acét.cristallisab$^{le}$ | (17) [18] | 19 | $C^2 H^4 O^2$. |
| » lactique. | (11) [12] | 13 | Sirupeux, légèrement jaunâtre. $C^3 H^6 O^3$. |
| » butyrique. | (17) [18] | 19 | $C^8 H^{14} O^3$. |
| » propionique. | (16) | 17 | $C^2 H^6 O^2$. |
| » formique. | 7 | 8 | $C H^2 O^2$. |
| » capronique. | 14 | 15 | $C^6 H^{12} O^2$. |
| » valérianique. | (17) | 18 | $C^5 H^{10} O^2$. |
| » phénique. | ..... | .. | Transmet le bleu, intercepte le violet. |
| * Glycérine. | 10 (11) | 12 | |
| * Chloroforme. | 13 | 14 | |
| Benzine. | 16 | 17 | Carbures d'hydr. du pétrole. |
| * Benzine. | 11 | 12 | $C^6 H^6$. — Bout à 80°. |
| * Essence de térébenth$^{ne}$ | 9 (10) (11) (12) | 13 | |
| Essence d'orange. | 8 | 9 | |
| Amylène. | 17 | 18 | $C^5 H^{10}$; bout entre 35° à 42°. |
| Toluène. | 12 (13) (14) | 15 | $C^7 H^8$ » à 108°. |
| Xylène. | 9 (10) [11] | 12 | $C^8 H^{10}$ » à 135°. |
| Cymène β. | (9) | 10 | $C^{10} H^{14}$ (un peu jaune). |
| Nitrobenzine. | 7 | 8 | $C^6 H^5 AzO^2$ bout à 213°, teinte jaune. |
| Aniline. | 9 | 10 | (Teinte jaune) » à 188. |
| Acétronitrile. | 20 | 21 | $C^2 H^3 Az$. |
| Essence de moutarde éthylique. | (9) | 10 | $C^2 H^5$ / $C Az$ } SC. |
| Esculine. | 7 | 8 | Dissolution aqueuse, |

Les résultats compris dans ce tableau s'accordent pour la plupart avec ceux de M. Miller; en général j'ai obtenu une transparence un peu plus grande que lui, ce qui s'explique facilement parce que j'opérais sur une couche de liquide moins épaisse, 1 cent. au lieu de 1,9 cent. Quelques autres divergences peuvent provenir d'une différence dans l'état de concentration.

Comme M. Miller, j'ai reconnu que l'acide chlorhydrique et les chlorures des métaux alcalins et alcalino-terreux, ainsi que l'acide sulfurique et les sulfates des mêmes bases, n'interceptent que les rayons extrêmes du spectre. Quant aux petites différences qui se sont manifestées entre ces corps, je n'oserais affirmer qu'elles soient dues uniquement à leur nature et qu'elles ne puissent pas être attribuées à des impuretés. — Les autres acides et les autres bases ont des degrés très-divers de transparence, et pour ce qui concerne les corps organiques, il serait prématuré de parler de règles générales.

### *Transparence du quartz.*

M. Stokes a observé que le quartz, le corps le plus transparent connu pour les radiations de haute réfrangibilité, exerce cependant une action absorbante sur la dernière raie double de l'aluminium (32).

Je ne puis que confirmer ce fait : dès que l'épaisseur du quartz interposé est un peu considérable, il devient impossible de distinguer cette raie. L'action absorbante s'étend d'ailleurs aux raies précédentes même avec des échantillons d'une complète limpidité.

Les raies extrêmes de l'aluminium peuvent bien se distinguer en suivant le mode d'observation ordinaire; mais

elles se voient plus facilement encore lorsqu'on supprime le collimateur du spectroscope et que l'on place l'étincelle à grande distance. Dans ces conditions, en effet, les rayons n'ont à traverser que le prisme et l'objectif de la lunette, c'est-à-dire le minimum d'épaisseur de quartz.

En plaçant alors sur leur route une lame de quartz de $10^{mm}$, on peut encore distinguer la $32^{me}$ raie ; mais elle est déjà notablement affaiblie.

Elle est interceptée par un quartz de $30^{mm}$ ; la raie 31 devient difficilement visible et la raie 30 est sensiblement affaiblie.

Avec un quartz de $40^{mm},5$ la raie 31 est très-difficile à distinguer.

Avec un canon de $60^{mm}$ de longueur, on observe un affaiblissement de plus en plus marqué sur les raies 27 à 30 ; les raies 31 et 32 ne se distinguent plus [1].

En plaçant à la suite l'un de l'autre les quartz de $60^{mm}$ et $40^{mm},5$, la raie 30 est interceptée et la raie 29 très-affaiblie ; en ajoutant encore celui de $30^{mm}$, la raie 29 est presque invisible.

Si le quartz n'est pas incolore, son pouvoir absorbant augmente beaucoup. Avec un quartz légèrement enfumé, sous une épaisseur de $20^{mm}$, j'ai pu distinguer toutes les raies jusqu'à la dernière du zinc (29), mais le spectre était très-affaibli dans toute l'étendue de l'ultra-violet. — Un cachet de quartz jaune (fausse topaze) de $67^{mm}$ de

[1] Ces échantillons de quartz de 10, 30 et $60^{m}$ qui ont servi aux recherches sur la polarisation rotatoire que j'ai faites avec M. Sarasin, sont parfaitement incolores et d'une grande limpidité. Le quartz de $40^{m},5$ est un prisme remarquable par sa complète pureté; il appartient à M. Sarasin. Dans ces 4 échantillons, qui sortent des ateliers de M. Hofmann, les faces parallèles que traversait la lumière étaient taillées perpendiculairement à l'axe.

longueur, examiné à la lumière solaire, ne laisse passer que les rayons visibles et absorbe tous les autres [1].

### *Transparence du spath d'Islande.*

Lorsqu'on remplace le prisme de quartz du spectroscope par un prisme de spath d'Islande taillé les arêtes parallèles à l'axe, on observe que les raies extrêmes sont absorbées. Jusqu'à 25 le spectre est transmis sans affaiblissement sensible ; mais la raie 26 est très-affaiblie. En faisant passer les rayons très-près de l'arête du prisme pour réduire l'épaisseur traversée au minimum, on arrive à distinguer 27.

L'observation de trois échantillons de spath, appartenant au cabinet de physique de l'Université de Genève, m'a donné les résultats suivants :

Le spectroscope était muni du prisme de quartz et de son collimateur. On plaçait le spath devant la fente.

*1er échantillon.* — Lame de spath destinée aux expériences de M. Desains. — Les faces parallèles perpendiculaires à l'axe sont placées verticalement; l'épaisseur traversée est de $32^{mm}$ ; la raie 25 est très-visible, mais 26 est très-affaibli ; on ne distingue pas les raies suivantes.

*2me échantillon.*— Gros rhomboèdre de spath, très-pur. On fait passer le rayon au travers de deux faces parallè-

[1] Dans un travail antérieur (Sur la polarisation par diffusion de la lumière. *Archives*, 1874, t. L, p. 262 et 264) j'ai fait connaître quelques propriétés optiques de la fausse topaze. Cette substance dans mon opinion, doit sa coloration, ainsi que son pouvoir d'illumination, à une multitude de particules hétérogènes, extrêmement ténues et disséminées dans sa masse. Les corps dans ces conditions interceptent les rayons très-réfrangibles.

les, placées verticalement; l'épaisseur est de 55$^{mm}$. La raie 25 est très-affaiblie; on ne distingue pas 26. — L'observation a donné le même résultat avec les 3 paires de faces parallèles.

3$^{me}$ *échantillon.* — Gros rhomboèdre de spath très-pur. — On fait successivement passer les rayons au travers des trois paires de faces parallèles placées verticalement; l'épaisseur est de 65$^{mm}$. Dans ces trois observations la raie 25 est affaiblie; on arrive à distinguer la raie 26. Cet échantillon, quoique plus épais, est donc plus transparent que le précédent.

On place le cristal l'axe vertical, et l'on fait passer les rayons par deux faces parallèles qui, par conséquent, ne sont plus, comme précédemment, normales au faisceau lumineux; l'épaisseur est nécessairement plus grande. La raie 25 est plus affaiblie; on ne distingue pas 26.

Cet échantillon porte deux faces parallèles à l'axe résultant de la troncature de deux arêtes opposées. En faisant passer le faisceau normalement à ces deux faces, c'est-à-dire au travers d'une épaisseur de 93$^{mm}$, on observe que 25 est très-affaibli; 26 est à l'extrême limite de visibilité: il semble qu'on distingue cette raie par instants.

En résumé, ces observations montrent que le spath possède une transparence moins étendue que celle du quartz. Cette substance ne peut être employée dans les instruments d'optique quand on doit opérer sur des rayons dont la réfrangibilité dépasse celle des raies du cadmium.

*Transparence de l'eau.*

*Eau distillée.* — On sait que l'eau, qui présente un intérêt particulier comme étant le dissolvant le plus fréquemment employé, se rapproche du quartz par sa transparence, sans l'égaler complétement au moins sous une faible épaisseur.

En plaçant de l'eau distillée parfaitement claire dans l'auge de 1 centimètre d'épaisseur, je n'ai jamais réussi à distinguer la raie 32; tandis qu'elle est encore perceptible lorsqu'on dispose à la suite l'une de l'autre cette auge vide et la lame de quartz de $10^{mm}$.

Cependant en observant des étincelles éloignées sans collimateur avec un prisme creux fermé par des lames de quartz et rempli d'eau distillée, on aperçoit cette raie extrême.

Sous une épaisseur de 10 cent., l'eau laisse passer sans affaiblissement sensible toutes les raies du cadmium et du zinc; on distingue facilement les raies de l'aluminium 30 et 31 qui sont affaiblies. Si l'on compare ce résultat avec celui du canon de cristal de roche de $60^{mm}$ cité plus haut, on doit en conclure que si l'eau est moins transparente que le quartz sous une épaisseur de 1 cent., elle prend une supériorité marquée pour de plus grandes épaisseurs.

En d'autres termes, le coefficient d'extinction pour les rayons de la réfrangibilité de la raie 32 est plus faible pour le quartz que pour l'eau; mais pour les raies précédentes, au moins de 27 à 31, ce coefficient est plus fort pour le quartz. L'observation suivante montre que pour

l'eau, et pour la raie 28 et les précédentes, ce coefficient est extrêmement faible.

Avec une colonne d'eau distillée atteignant $1^{m},16$ j'ai pu distinguer jusqu'à la $28^{me}$ raie, quelques moments après que le liquide avait été introduit dans le tube. J'opérais sans collimateur et avec des étincelles éloignées. — On a laissé cette eau séjourner dans le tube et, au bout de deux jours, on a observé une diminution de la transparence : la raie 26 était la dernière visible. Cinq jours plus tard on ne distinguait plus que la raie 24. — Il est à remarquer que les lames de quartz terminales n'étaient pas assez larges pour clore le tube et qu'on avait dû les fixer au baume de Canada sur des plaques en laiton. C'est peut-être le contact du métal et de l'eau qui a produit la détérioration de cette dernière.

Dans une seconde expérience faite en renouvelant l'eau, on a pu distinguer les raies 25 et 26, mais non 27 et 28, comme la première fois. L'eau était de la même provenance, mais elle avait été transvasée dans l'intervalle.

On voit combien les moindres causes d'impureté agissent sur la transparence quand l'épaisseur est très-grande.

La parfaite limpidité est d'ailleurs une condition essentielle pour la transmission des rayons extrêmes ; des particules très-ténues en suspension, ne produisant pas un trouble appréciable pour l'œil à la lumière diffuse, suffisent pour exercer une action sensible.

*Eau non distillée.* — L'eau du Rhône débitée par les conduites de la Ville de Genève est souvent un peu louche. En en remplissant le tube de $1^{m},16$ et en l'observant à la lumière solaire immédiatement après le remplissage, on a reconnu que les rayons plus réfrangibles que N sont interceptés. Après deux jours de repos

tout le spectre solaire ultra-violet était transmis, mais avec un affaiblissement sensible au delà de P.

Sous une épaisseur de 10 cent., cette eau laisse passer toutes les raies du cadmium et du zinc.

Certaines eaux de source sont beaucoup moins transparentes. Je reviendrai plus loin sur ce qui concerne l'eau de pluie.

*Eau de mer* (Méditerranée). — L'eau de mer sous une épaisseur de 1 cent. laisse passer le spectre jusqu'à la raie 26 en interceptant les suivantes. Placée dans le tube de $1^m,16$, elle permet de distinguer la raie 12 qui est affaiblie. A la lumière solaire les rayons ultra-violets sont transmis ; la raie R est visible, mais elle est affaiblie.

*Eau filtrée.* — M. Stokes et M. Miller ont reconnu que la filtration sur du papier Joseph altère la transparence des liquides pour les rayons très-réfrangibles. — Je suis arrivé au même résultat; ainsi on a versé de l'eau distillée sur un filtre neuf et l'on a recueilli le premier quart de litre dans un tube de $0^m,186$; on a observé un affaiblissement général de la partie extrême du spectre, la raie 26 étant à peine visible et les suivantes interceptées.

La même expérience répétée avec le tube de 10 centimètres a donné un affaiblissement sensible depuis la raie 22 ; on distinguait difficilement 29.

Mais si l'on a soin de laver le filtre avec de l'eau aiguisée d'acide chlorhydrique, puis avec de l'eau pure, l'influence de la filtration n'est plus sensible après ces lavages.

Il résulte de là que si l'on veut opérer avec précision, il faut autant que possible éviter les filtrations. Si elles sont nécessaires, il ne faut employer que des filtres bien lavés ; il sera même prudent, dans ce dernier cas, de s'as-

surer directement que le filtre n'exerce pas d'action sur un liquide de la nature chimique de celui qu'on veut soumettre à l'observation.

### *Influence de l'épaisseur et de la concentration des dissolutions.*

L'absorption dans la partie ultra-violette du spectre est soumise aux mêmes règles générales que dans la partie visible.

Si l'on augmente l'épaisseur de la couche que la lumière doit traverser, les rayons très-réfrangibles sont de plus en plus interceptés et le spectre diminue de longueur. Mais il y a à cet égard des différences considérables entre les divers corps. Pour quelques-uns le pouvoir absorbant varie rapidement avec l'épaisseur ; pour d'autres le changement est très-lent. Il en résulte que souvent une substance qui est plus transparente qu'une autre sous une faible épaisseur, est au contraire plus absorbante sous une épaisseur plus grande. Nous avons déjà cité un cas remarquable de cette inversion, celui du quartz comparé à l'eau. — L'acide azotique ne change presque pas de transparence entre des limites d'épaisseur très-écartées. Une couche de 1 centimètre de ce liquide concentré (et même assez étendu) intercepte les raies 12 et suivantes, affaiblit 11, et laisse librement passer les raies précédentes. Si l'on rend l'épaisseur 10 fois plus forte, l'absorption ne s'étend qu'à la raie 11, la 10$^{me}$ étant encore transmise quoique affaiblie. L'acide sulfurique à six équivalents d'eau, se comporte tout autrement ; une couche de ce liquide de 1 centimètre laisse passer tout le spectre jusqu'à la raie 29, qui, il est vrai, est très-affaiblie ; tandis

que si la couche est de 10 centimètres, la transparence est à peu près la même que celle de l'acide azotique.

Les variations de concentration des dissolutions jouent le même rôle que les variations d'épaisseur. A épaisseur égale et pour une même substance en dissolution, le spectre s'étend généralement d'autant plus du côté le plus réfrangible que le liquide est plus dilué. Mais ici encore on observe des différences très-marquées suivant la nature des corps. Pour quelques-uns la transparence est à peine modifiée entre des limites de concentration éloignées ; c'est encore le cas de l'acide azotique qui, sous une épaisseur de 1 centimètre, laisse passer le spectre jusqu'à la raie 11, en interceptant la raie 12 et les suivantes, aussi bien lorsqu'il est concentré que lorsqu'il est étendu de 15 fois son volume d'eau. — Pour d'autres substances l'étendue du spectre augmente assez rapidement avec la dilution.

Souvent à certains états de concentration, on observe dans le spectre des bandes d'absorption séparées par des bandes de transparence ; nous reviendrons sur ce point dans un paragraphe suivant.

Le pouvoir *chroïque* est très-variable suivant les substances. A un état de grande dilution certains corps exercent encore une influence très-marquée; on peut citer dans cette catégorie l'acide azotique et les azotates, les azotites, l'acide sulfureux, les chromates, le prussiate jaune de potasse, l'aniline; l'acide phénique, l'esculine, la nitrobenzine, etc.

On peut représenter tous ces phénomènes par des courbes en prenant comme abscisses les angles de déviation des derniers rayons transmis, et comme ordonnées, soit l'épaisseur, soit le poids du corps dissous dans un volume con-

tant par exemple dans un litre. Si l'étude d'une substance est suffisamment complète, on peut représenter l'affaiblissement de certaines parties du spectre par des teintes dégradées au-dessous de la courbe, tandis qu'au-dessus une teinte noire indiquera l'absorption complète.

Si l'on fait varier la proportion d'eau en modifiant en même temps l'épaisseur, de telle façon que la quantité du corps dissous reste toujours la même, on n'observe pas en général de modification du pouvoir absorbant. Je l'ai constaté de la manière suivante.

Sur un grand support on a fixé un spectroscope de telle façon que son collimateur fût vertical, la fente tournée en bas. Au-dessous et fixé au même support, on a placé un large tube de verre ouvert par en haut et fermé à sa base par une lame de quartz. Au-dessous encore étaient disposés les électrodes entre lesquels se produisaient les étincelles dont la lumière concentrée à l'aide d'une lentille de quartz, arrivait sur la fente du spectroscope au travers du tube. Dans ce dernier on plaçait d'abord une couche d'un ou deux centimètres d'une dissolution quelconque, et l'on observait son spectre d'absorption. Puis on ajoutait de l'eau en proportion variable de manière à étendre la dissolution à divers degrés. — On a habituellement reconnu que le spectre n'était pas modifié par cette addition d'eau.

Ainsi par exemple, on a pris du chromate de potasse à un degré de dilution tel, que sous une épaisseur de $18^{mm}$ il donnait un spectre très-caractéristique dont nous parlerons plus loin. En ajoutant successivement de l'eau distillée de manière à porter l'épaisseur jusqu'à 16 ou 17 centimètres, on n'a observé aucune modification de ce

spectre. — Il en a été de même avec d'autres corps produisant un spectre plus simple.

Ces résultats ont été confirmés par des comparaisons de dissolutions très-étendues d'azotate de potasse observées à la manière ordinaire. Dans l'auge de 1 cent. une dissolution déterminée donnait toujours exactement le même résultat que la même dissolution étendue de 9 fois son volume d'eau placée dans le tube de 10 centimètres [1].

Je dois dire cependant qu'en répétant cette expérience avec l'ammoniaque étendue, j'ai trouvé la transparence un peu plus faible sous 10 centimètres que sous 1 centimètre d'épaisseur comme le montrent les chiffres suivants. Le titre de la dissolution est donné par le poids d'$AzH^3$ dans un litre.

*Ammoniaque du commerce distillée.*

| Auge de 1 centimètre. | | Tube de 10 centimètres. | |
|---|---|---|---|
| Titre de la dissol. | Raies transmises. | Titre de la dissol. | Raies transmises. |
| $9^{gr},0214$ | (25) (26) (27) | $0^{gr},90214$ | (25) (26) [27] |
| $0^{gr},90214$ | (27) (28) [29] | $0^{gr},090214$ | (27) (28) |

*Ammoniaque pure.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| $2^{gr},9367$ | (27) [28] | $0^{gr},29367$ | (26) (27) |

Ces légères différences peuvent provenir de plusieurs causes, par exemple de ce que dans l'auge de 1 centimètre qui est ouverte, l'ammoniaque relativement concentrée devait subir une perte par évaporation plus sensible que la dissolution diluée et complétement enfermée dans le tube de 10 centimètres.

D'ailleurs il n'est pas probable que la constance du pouvoir absorbant d'une substance à masse égale, mais à

[1] Voyez plus loin le paragraphe consacré à l'étude des azotates.

des degrés divers de concentration, se manifeste toujours rigoureusement. Quelquefois la dilution entraîne des modifications chimiques, il peut se former des précipités très-ténus, les différences de réfrangibilité des liquides peuvent produire une action ; en outre les phénomènes de fluorescence doivent parfois exercer une influence [1].

*Rôle des acides et des bases dans la transparence des dissolutions salines.*

M. Gladstone a reconnu que dans la partie visible du spectre un oxyde métallique donne en général le même spectre d'absorption quel que soit l'acide avec lequel il est combiné. — Il résulte également des observations de M. Miller sur les rayons ultra-violets que les acides, comme les bases, apportent dans les sels leurs propriétés d'absorption.

Ce principe est confirmé par mes observations; les combinaisons des bases ayant un grand degré de transparence (oxydes alcalins et alcalino-terreux) avec des acides présentant la même propriété (acide sulfurique, chlorhydrique), donnent lieu à des composés qui sont aussi transparents. — Mais un acide chroïque combiné avec des bases transparentes formera des sels qui ont le même pouvoir d'absorption que l'acide. Ainsi l'acide azotique, entre des limites de concentration très-écartées, laisse passer toutes les raies jusqu'à la 11$^{me}$, qu'il affaiblit, et intercepte toutes les suivantes ; il en est de même des azotates alcalins et alcalino-terreux, et des azotates de quel-

[1] M. Lippich a observé de petites variations dans le spectre d'absorption du didyme suivant le degré de dilution (*Zeitschrift für analyt. Chem.* 15, 334).

ques autres métaux. — Les carbonates alcalins ont aussi tous la même transparence.

En raison de l'importance de cette loi, je l'ai étudiée avec soin dans un certain nombre de cas, et elle m'a paru se vérifier très-généralement [1]. Cependant je ne pense pas qu'elle soit absolue : les expériences de M. Bunsen sur les spectres d'absorption des divers composés du didyme, montrent qu'elle souffre des exceptions; l'influence bien connue de la nature du dissolvant sur certaines substances est un fait du même ordre.

Enfin pour cela comme pour tout l'ensemble des phénomènes qui nous occupent, il faut tenir compte de ce que l'absorption se produit suivant deux modes différents au moins : le mode le plus ordinaire est celui où les vibrations lumineuses sont détruites et se convertissent en chaleur qui élève la température du corps absorbant; le second mode est celui qui se manifeste pour les substances fluorescentes, dans lesquelles les vibrations de l'éther sont réémises avec un changement de longueur d'ondulation. Or la fluorescence est un phénomène éminemment variable avec la nature des dissolvants, avec le degré de concentration, avec l'état moléculaire et avec la nature chimique des combinaisons dans lesquelles peut entrer une substance fluorescente.

### *Spectres présentant des bandes d'absorption.*

Les spectres dont certaines parties présentent des maxima de lumière séparés par une ou plusieurs bandes d'ab-

[1] Voyez pour cette vérification les paragraphes suivants relatifs aux chromates, azotates et à l'ammoniaque.

sorption, offrent un intérêt spécial, parce qu'ils sont très-caractéristiques des corps qui les produisent ; on sait quel parti l'analyse spectrale a su tirer de ces phénomènes pour les rayons visibles.

On rencontre fréquemment de ces cas de discontinuité dans la partie ultra-violette du spectre. M. Miller a signalé les *iodures* comme donnant lieu à une bande d'absorption (de 9 à 12). M. Stokes a fait une observation analogue sur les *azotates* à un certain degré de concentration (bande entre 12 et 17) ; il a en outre montré qu'un grand nombre d'alcaloïdes et de glucosides sont caractérisés par une et quelquefois deux bandes d'absorption dans la partie ultra-violette.

J'ai reconnu des propriétés semblables chez un certain nombre d'autres corps, et il est probable que l'on pourrait en augmenter la liste, même parmi les substances faisant partie du tableau que j'ai donné plus haut ; en effet je suis loin de les avoir toutes étudiées à des degrés divers de concentration ; or pour la partie ultra-violette comme pour la partie lumineuse du spectre c'est surtout avec des dissolutions étendues que les bandes d'absorption se manifestent.

Voici sur ce sujet le résultat de mes observations faites avec l'auge de 1 centimètre :

Les *chromates* en dissolution étendue ($250^{mg}$ de chromate neutre de potasse dans 1 litre) produisent deux bandes d'absorption, l'une comprise entre les raies 8 et 12, l'autre beaucoup plus large s'étend de la raie 15 à une petite distance avant 22. — Je donnerai plus bas quelques détails sur le spectre des chromates ainsi que sur celui des *azotates*.

L'*azotite de potasse* en dissolution un peu concentrée

(contenant très-probablement une proportion notable d'azotate) absorbe tout l'ultra-violet. En étendant la dissolution de trois fois son volume d'eau, on voit que la partie la moins réfrangible de l'ultra-violet, ainsi que les rayons extrêmes sont encore interceptés ; mais entre deux on distingue les raies 17 et 18. La même dissolution étendue de 15 fois son volume d'eau, intercepte encore 9 et 10 en laissant passer les raies de 12 à 18.

L'*acide sulfureux* en dissolution aqueuse à peu près saturée, intercepte tous les rayons plus réfrangibles que 12. En dissolution étendue la partie transmise atteint la raie 13 ; au delà il y a une bande obscure allant jusqu'à 21 ; les raies 22 et 23 sont transmises; enfin les raies 24 et suivantes sont interceptées.

Le *sulfate de didyme* qui, comme on le sait, donne un spectre lumineux discontinu, présente aussi dans l'ultra-violet une bande d'absorption ; sous une épaisseur de 1 centimètre, elle n'est pas absolument noire, mais elle se manifeste très-nettement avec la lumière solaire par un affaiblissement notable à partir de la raie N jusque tout près de la raie O (9 et 10 affaiblies). — En opérant sur une couche plus épaisse de sulfate de didyme dans le tube de 10 centimètres (60 °/₀ de sulfate de didyme saturé et 40 °/₀ d'eau) on reconnaît que la raie 10 est complétement interceptée; 11 à 17 sont transmises; les radiations plus réfrangibles sont absorbées.

Le spectre du *sulfate de cérium* en dissolution un peu concentrée, s'arrête nettement un peu au delà de la raie 12; il grandit successivement jusqu'à 17 quand on étend la dissolution. Lorsqu'on a ajouté sept fois son volume d'eau à la dissolution primitive, on observe une bande d'absorption qui commence un peu après 17 et se ter-

mine un peu avant 22. Au delà on distingue le spectre jusqu'à la raie 29. En doublant encore le volume d'eau tout le spectre est visible, mais les raies comprises entre 17 et 22 sont encore sensiblement affaiblies.

Le *permanganate de potasse* à un état de concentration tel que la liqueur, d'une belle couleur pourpre, donne lieu à une large bande noire interceptant le vert, laisse passer le violet, puis intercepte tout l'ultra-violet à l'exception de la raie 17 qui est légèrement visible. — En étendant la dissolution de manière à en doubler le volume, le spectre dépasse un peu le violet ; puis vient une bande d'absorption qui se termine avant 17 ; on distingue aussi 18 et 19. — Si l'on double encore le volume (la bande dans le vert étant résolue en plusieurs autres), on distingue les raies 9 et 10 ; la bande d'absorption s'étend jusque près de 17, qui est très-visible ; les raies 18 et 20 sont affaiblies. — En doublant encore le volume d'eau, la bande d'absorption disparaît et l'on distingue tout l'ultra-violet jusqu'à 26.

J'ai fait à la lumière solaire un petit nombre d'observations sur le spectre du *sang* oxygéné ; je n'ai pas trouvé de bande d'absorption dans l'ultra-violet proprement dit ; mais j'en ai observé une qui, à ma connaissance, n'a pas encore été signalée, dans le violet entre G et *h*, plus près de cette dernière. Le sang était à un état de dilution tel que les deux bandes caractéristiques du spectre lumineux étaient nettement visibles. — La bande dans le violet se distingue très-facilement avec l'oculaire fluorescent ; elle est difficile à voir à l'oculaire ordinaire, à moins que l'on ne place un verre bleu devant la fente du spectroscope. Au delà on distingue les rayons ultra-violets ; à ce degré de dilution, la lumière de l'étincelle est transmise jusqu'à

21 environ. Il m'a paru que le traitement par l'oxyde de carbone modifie un peu la position de la bande dont je viens de parler ainsi que sa persistance quand on dilue le sang; mais jusqu'ici je n'en ai pas fait l'étude complète.

L'*ammoniaque* caustique extraite des eaux des usines à gaz, lorsqu'on y ajoute un ou deux volumes d'eau, donne un spectre caractérisé par une bande d'absorption entre 17 et 22; mais cette bande est due à une substance étrangère dont il est difficile de débarrasser l'ammoniaque. Je reviendrai plus bas sur ce sujet[1].

### *Étude des chromates.*

Le spectre très-caractéristique des chromates méritait une étude plus complète.

A cet effet on a dissous 10 gr. de *chromate neutre de potasse*, purifié par plusieurs cristallisations, dans un litre d'eau (soit 5,1646 gr. d'acide chromique $Cr\,o^3$). A l'aide de cette liqueur on a formé des dissolutions plus étendues que l'on a examinées sous l'épaisseur de 1 cent. On a obtenu les résultats suivants :

[1] Je n'ai pas trouvé de bandes d'absorption dans le prussiate jaune de potasse, quel que fût l'état de dilution, non plus qu'avec l'aniline dissoute dans l'alcool. A la lumière solaire le jargon ne donne pas de bandes dans l'ultra-violet qu'il intercepte depuis M.

| Poids de $CrO^3$ dans 1 litre | Raies Transmises | Raies Interceptées | Observations. |
|---|---|---|---|
| 1gr,0329 | 1 à 6 | 7 et suiv. | |
| 0,5165 | 1 à 7 | Le violet et l'ultra-violet | On aperçoit une lueur vers 12. |
| 0,3443 | 1 à 7<br>13 | 8 à 12<br>14 et suiv. | La bande d'absorption éteint le violet et l'ultra-violet jusqu'à 12. |
| 0,2582 | Un peu plus de violet | id. | Pas de changemt notable. |
| 0,1721 | 1 à 8<br>13<br>22 à (24) | 9 à 12<br>14 à 21<br>25 et suiv. | Il y a donc une seconde bande d'absorption de 14 à 21. |
| 0,1291 | 1 à 8<br>12 à 14<br>22 à (25) | 9 à 11<br>15 à 21<br>26 et suiv. | La première bande d'absorption se rétrécit; le spectre s'étend vers l'extrémité la plus réfrangible. |
| 0,0861 | 1 à 8<br>(10)(11) à 14<br>22 à 25 | 9<br>15 à 21<br>26 et suiv. | |
| 0,0516 | 1 à (9) à 14<br>21 à 26 | 15 à 20<br>27 et suiv. | La première bande ne se manifeste plus que par l'affaiblissement de 9. |
| 0,0258 | 1 à (17) à 26 | 27 et suiv. | La 2me bande ne se manifeste plus que par l'affaiblissement de 17. |

La figure 2, Pl. V, donne la courbe approximative qui représente ces résultats.

Les chromates neutres de soude et d'ammoniaque, les bichromates de potasse et d'ammoniaque étendus d'eau, m'ont paru donner identiquement le même spectre que le chromate neutre de potasse; les deux bandes d'absorption présentent les mêmes caractères.

Avec l'acide chromique les bandes, surtout la première, sont moins nettement caractérisées; mais je ne suis pas assez sûr de la pureté du produit sur lequel j'ai opéré pour pouvoir tirer une conclusion certaine.

En ajoutant au chromate une autre substance, telle que du carbonate de soude, on ne modifie pas l'apparence du spectre, sauf dans la partie la plus réfrangible qui est interceptée par le carbonate.

D'après ce qui précède il est possible que l'on arrive à doser avec quelque exactitude l'acide chromique en dissolution de la manière suivante. Après avoir porté la liqueur à un degré de dilution suffisant (coloration jaune presque insensible), on chercherait sous quelle épaisseur se produit la première apparition d'une bande brillante, ou l'extinction d'une bande d'absorption, ou encore l'apparition d'une raie convenablement choisie.

Je fais construire actuellement un appareil qui permettra de faire varier et de mesurer l'épaisseur d'un liquide sous le spectroscope. On pourra ainsi déterminer très-facilement le degré d'exactitude que l'on peut atteindre dans des analyses quantitatives de ce genre.

### *Étude de l'ammoniaque.*

J'ai rencontré quelques difficultés dans l'étude des dissolutions d'ammoniaque et des sels ammoniacaux; en effet, suivant la provenance de ces produits, on observe des divergences très-marquées dans les propriétés d'absorption.

J'ai examiné d'abord un échantillon de chlorhydrate d'ammoniaque, de provenance ancienne. En dissolution moyennement concentrée il laisse passer tout le spectre jusqu'à la raie 26; à l'état de saturation, il intercepte 26 et affaiblit notablement 24 et 25 et un peu 22 et 23.

En second lieu du carbonate d'ammoniaque, aussi d'ancienne provenance, laissait passer la raie 18, affai-

blissait 21 et interceptait le reste, se comportant comme les autres carbonates alcalins.

J'ai pris ensuite une dissolution d'ammoniaque caustique du commerce qui, successivement diluée (épaisseur 1 cent.), m'a donné des résultats tout différents consignés dans le tableau suivant :

| Ammoniaque. | Raies transmises. | Raies interceptées. | Observations. |
|---|---|---|---|
| Dissolution concentrée | 1 à 17 | 18 et suiv. | |
| Étendue de son volume d'eau. | 1 à 17<br>(22) à (24) | 18 à 21<br>25 et suiv. | Il y a donc bande d'absorption entre 17 et 22. |
| Étendue de 3 fois son volume d'eau | 1 à 17<br>22 à 24 | 18 à 21<br>25 et suiv. | La bande d'absorption se termine très-peu après 21 |
| Étendue de 7 fois son volume d'eau. | 1 à 17<br>22 à (25) (26) | 18 à 21<br>27 et suiv. | |
| Étendue de 15 fois son volume d'eau. | 1 à (18) à 26 | 27 et suiv. | La bande ne se manifeste plus que par l'affaiblissement de 18. |

Supposant que les sels ammoniacaux pouvaient présenter un autre spectre que l'ammoniaque en dissolution aqueuse, on a essayé de neutraliser l'ammoniaque de commerce, soit avec l'acide sulfurique, soit avec l'acide chlorhydrique. Mais ces liqueurs se comportaient comme l'ammoniaque ayant servi à leur préparation et donnaient lieu à la même bande d'absorption.

L'ammoniaque du commerce, purifiée par distillation, présentait à divers états de concentration les mêmes caractères que la liqueur d'où elle était extraite. — La dis-

tillation avec addition d'une petite quantité de permanganate de potasse n'a rien changé au résultat.

J'ai fait alors préparer de l'ammoniaque caustique au moyen de sulfate d'ammoniaque et de chlorhydrate d'ammoniaque préparés avec l'ammoniaque de commerce, puis purifiés par plusieurs cristallisations.

En examinant ces produits j'ai trouvé que dans l'ammoniaque ainsi extraite du sulfate, la bande d'absorption est très-atténuée, mais encore sensible. Dans l'ammoniaque extraite du chlorhydrate, cette bande est notablement plus marquée, mais moins cependant que dans l'ammoniaque obtenue par simple distillation du produit du commerce. L'observation a été répétée plusieurs fois à divers états de dilution. Je ne citerai que les suivantes.

On a amené ces liquides a un état de concentration tel qu'avec tous les trois la raie 24 pouvait encore un peu se distinguer.

Avec l'ammon. préparée au sulfate, la raie 18 est très-affaiblie.
» » chlorhydrate, 18 est interceptée.
» » par distillation, 18 »

On étend un peu ces liqueurs de manière à rendre la raie 24 franchement visible quoique encore sensiblement affaiblie.

Avec l'ammon. prép. au sulfate la raie 18 est un peu affaiblie.
» » chlorhydrate, 18 est affaiblie, mais se distingue bien.
» » par distillation, 18 est interceptée.

Il résulte clairement de l'ensemble de ces observations que l'ammoniaque du commerce (qui maintenant provient presque toujours des eaux ammoniacales des usines à gaz) contient une substance caractérisée par une bande

d'absorption entre 17 et 21, substance qu'il est difficile d'éliminer, puisque plusieurs cristallisations successives ne suffisent pas pour la séparer et qu'elle passe à la distillation. — Je ne sais si ce fait est déjà connu, mais il m'a paru mériter d'être cité comme un cas où l'analyse spectrale ultra-violette peut indiquer la présence d'une impureté qu'il serait moins facile de reconnaître autrement[1].

Cela étant, on a préparé de l'ammoniaque caustique avec le chlorhydrate d'ancienne provenance dont j'ai parlé, et qui ne produit pas de bande d'absorption. La quantité de ce sel que j'avais à ma disposition n'était pas considérable et la dissolution obtenue n'était pas saturée. Elle a été dosée avec de l'acide oxalique titré; on a trouvé qu'elle contenait $98^{mg},966$ d'ammoniaque $AzH^3$ par centimètre cube. La transparence de ce liquide est très-différente de celle de l'ammoniaque du commerce distillée; on ne reconnaît aucune bande d'absorption[2]. Voici les résultats obtenus avec ce liquide successivement dilué :

| Poids de $AzH^3$ dans 1 litre gr. | Dernière raie transmise sous une épaisseur de 1 cent. | Dernière raie transmise sous une épaisseur de 10 cent. |
|---|---|---|
| 98,966 | 25 (26) | |
| 49,483 | 26 | 23 (24) [25] |
| 24,7414 | 26 [27] | |
| 12,3707 | (27) | (25) |
| 6,1853 | (27) [28] | |
| 3,0927 | (28) | (25) [26] |
| 1,5463 | (28) [29] | (26) |
| 0,7732 | (29) | (26) [27] |
| 0,3866 | | (27) [28] |

[1] Je n'ai pas jusqu'ici cherché à déterminer la nature de cette substance étrangère ; c'est probablement un autre ammoniaque.

[2] L'ammoniaque du commerce, en dissolution contenant $9^{gr}$ de $AzH^3$ dans 1 litre, produit nettement la bande d'absorption sous une épaisseur de 10 centimètres.

| Poids de Az H³ dans 1 litre. | Dernière raie transmise sous une | |
|---|---|---|
| gr. | épaisseur de 1 cent. | épaisseur de 10 cent. |
| 2,9367 | (27) (28) | (25) [26] |
| 0,5873 | (27) (28) [29] | (26) [27] |
| 0,2937 | 27 (28) (29) | (26) (27) |
| 0,1468 | (29) | (27) [28] |
| 0,0734 | 29 | (27) (28) |
| 0,0367 | | (28) [29] |
| 0,0612 | | (29) |
| 0,0061 | | 29 très-peu affaiblie. |

*Étude de l'acide azotique et des azotates.*

Comme nous l'avons déjà dit, le spectre d'absorption de l'acide azotique varie très-peu tant que la proportion d'acide est considérable. Sous une épaisseur de 1 cent., depuis l'état de concentration complète jusqu'à une dissolution de 54 gr. (de $Az^2o^5$) dans un litre, cet acide laisse librement passer les rayons jusqu'à 10; la raie 11 est affaiblie, puis le spectre se termine brusquement. — Sous l'épaisseur de 10 cent. l'acide concentré du commerce (pur) intercepte la raie 11 et affaiblit la raie 10. Le coefficient d'extinction, qui est très-fort pour les rayons très-réfrangibles, a donc au contraire une valeur extrêmement faible pour les raies antérieures à 12.

Les azotates présentent tous les mêmes caractères quand la base est transparente.

Je me suis assuré que l'azotate de potasse et l'acide azotique, à égale proportion de ce dernier, et à divers états de dilution, se comportent exactement de même. Dans ce

but j'ai pris deux quantités égales d'acide azotique ($50^{cc}$ d'acide distillé) ; j'ai neutralisé l'une d'elles avec du bicarbonate de potasse pur ; l'acide carbonique a été chassé par ébullition. Chacune des deux liqueurs a été étendue de manière à occuper le volume d'un litre. Puis on a observé leur transparence sous une épaisseur de 1 cent., en ajoutant successivement des quantités égales d'eau de part et d'autre. L'identité du spectre s'est constamment maintenue. — L'expérience a été continuée avec une épaisseur de 10 cent. pour les dissolutions très-étendues ; le résultat a toujours été le même.

Dans une autre série d'observations j'ai comparé l'acide azotique très-étendu avec des dissolutions équivalentes d'azotate de soude et d'azotate d'ammoniaque. Aucune différence ne s'est manifestée entre ces divers liquides.

On peut donc admettre que l'acide azotique apporte sans modification, ses propriétés absorbantes dans les sels, et comme il est beaucoup plus chroïque que la plupart des bases, son action est la seule qui soit mise en évidence, surtout dans les dissolutions étendues.

Ce point étant bien établi, il suffit d'étudier l'azotate de potasse qu'il est facile de purifier par cristallisations (en évitant les filtrations pour les dernières opérations). — On a préparé ainsi une dissolution contenant $298^{gr},390$ d'azotate de potasse, soit $156^{gr},327$ d'acide azotique $Az^2O^5$ dans un litre d'eau. On l'a examinée au spectroscope en la diluant successivement. Voici les résultats obtenus sous une épaisseur de 1 cent. :

| Poids de $Az^2O^5$ dans 1 litre. | Raies Transmises | Raies Interceptées | Observations |
|---|---|---|---|
| Grammes | | | |
| 156,327 | 1 à (11) | 12 et suiv. | |
| 78,1635 | id. | id. | |
| 52,109 | id. | id. | On aperçoit une lueur vers 18. |
| 39,0817 | 1 à 11<br>[17] 18 | 12 à 16<br>19 et suiv. | La bande d'absorption est bien caractérisée. |
| 31,2652 | 1 à [12]<br>(17) à 18 | 13 à 16<br>19 et suiv. | |
| 26,0545 | 1 à (12)<br>(17) à 18 | 13 à 16<br>19 et suiv. | |
| 22,1896 | 1 à (12)<br>17 à 18 | 13 à 16<br>19 et suiv. | |
| 19,5409 | 1 à 12<br>17 à 18 | 13 à 16<br>19 et suiv. | |
| 17,3674 | 1 à 12<br>17 à 19 | 13 à 16<br>20 et suiv. | |
| 15,6327 | id. | id. | |
| 14,2115 | id. | id. | |
| 7,1057 | 1 à 12<br>(15) (16) à 19 | 13 à 14<br>20 et suiv. | |
| 3,5529 | 1 à 19 | 20 et suiv. | La bande ne se manifeste que par un affaiblissem^t entre 12 et 17 |
| 1,7764 | 1 à 20 | 21 et suiv. | |
| 0,8882 | 1 à 21 | 22 et suiv. | |
| 0,4441 | id. | id. | La partie transmise se rapproche de 22. |
| 0,2220 | 1 à 21 (22) (23) | 24 | |
| 0,1110 | 1 à (23) | 24 | |
| 0,0555 | 1 à 23 [24] | 25 | |

Dans une autre série d'observations on a cherché à déterminer à quel degré de dilution on commence à apercevoir la raie brillante vers 18. — On a trouvé que

pour 53gr,465 dans 1 litre on a la dernière limite de visibilité de la lueur.

» 48gr,1185 » 18 est transmise, mais affaiblie, 17 presque invisible.

» 42gr,772 » 12 est invisible, 17 très-affaiblie, 18 encore affaiblie.

» 32gr,079 » 12 est légèrement visible, 17 affaiblie, 18 un peu affaiblie.

Avec un appareil permettant de faire varier l'épaisseur d'une dissolution ne contenant que des azotates, ou des corps beaucoup plus transparents, on pourra, je pense, doser avec une certaine approximation la quantité d'acide azotique (essai des salpêtres, etc.) ; mais je ne puis dire encore quel degré d'exactitude on peut espérer d'obtenir.

La figure 3, Pl. V donne la courbe approximative qui représente l'absorption de l'azotate de potasse (de l'acide azotique et de la plupart des autres azotates) à divers états de concentration [1].

*Dissolutions très-étendues.* Les résultats indiqués ci-dessus se rapportent à des dissolutions contenant des proportions relativement considérables d'azotate de potasse; mais l'absorption est encore sensible à un bien plus grand état de dilution, comme on va le voir.

On a pris une dissolution contenant 1gr,445 d'azotate de potasse, soit 0gr,7725 d'acide azotique, $Az^2O^5$, dans un litre ; on l'a successivement étendue de quantités d'eau

[1] Dans cette courbe les ordonnées sont à une échelle beaucoup plus petite que dans la courbe de la fig. 2 relative au chromate de potasse ; rapportées à une quantité équivalente de potasse les deux échelles sont comme 1 : 108. A ces degrés de concentration le chromate de potasse est donc beaucoup plus chroïque que l'azotate, mais il en est autrement pour des dissolutions très-étendues.

de plus en plus grandes et l'on a obtenu les résultats suivants sous les épaisseurs de 1 centimètre et de 10 centimètres.

| Poids de $Az^2O^5$ dans 1 litre | Dernières raies transmises Épaisseur | |
|---|---|---|
| | 1 cent. | 10 cent. |
| 77,25 | (23) [24] | 21 |
| 57,937 | 23 (24) | 21 |
| 38,625 | 24 [25] | 21 |
| 19,3125 | (25) [26] | [23] |
| 15,450 | 25 (26) [27] | (23) |
| 11,5874 | (26) (27) [28] | (23) |
| 7,725 | 28 [29] | 23 [24] |
| 3,8625 | . . . . . | 24 [25] |
| 1,9312 | . . . . . | (25) [26] |
| 0,9656 | . . . . . | (26) (27) [28] |

Les courbes de la figure 4, Pl. V représentent graphiquement ces résultats.

On voit que $\frac{1}{1000000}$ d'acide azotique est encore parfaitement sensible sous une épaisseur de 10 centimètres. En d'autres termes deux centièmes de milligrammes d'azotate de potasse dissous dans l'eau qui remplit un tube ou une auge de 1 centimètre carré de section produit un effet appréciable en interceptant la 29$^{me}$ raie et affaiblissant les précédentes.

On pourrait probablement aller encore plus loin en employant la lumière de l'aluminium et les raies 30 et 31, ou bien en opérant sous une épaisseur plus grande que 10 centimètres; mais l'observation devient alors très-délicate et le moindre défaut de clarté du liquide peut fausser les résultats.

*Eaux de pluie.* Les résultats qui viennent d'être rapportés me paraissent indiquer que l'analyse spectrale

ultra-violette serait applicable au dosage de l'acide azotique dans les eaux potables et surtout dans les eaux de pluie. Ces dernières en effet ne contiennent pas d'autre substance susceptible de produire une absorption sensible. Les sels que l'on y reconnaît quelquefois, particulièrement près des côtes de l'Océan, proviennent de l'eau de mer et sont tous complétement transparents à ce degré de dilution. L'ammoniaque, d'après les analyses de M. Bineau [1], n'y atteint guère que la proportion de 30 à 35 milligr. par litre au maximum, proportion qui sous une épaisseur de 10 centimètres n'est pas suffisante pour intercepter la raie 29. D'ailleurs le spectre de l'acide azotique se termine beaucoup plus brusquement que celui de l'ammoniaque; puis, si ce caractère n'était pas suffisant, on pourrait contrôler le résultat d'une première observation en en faisant une seconde sous une autre épaisseur: la différence sera beaucoup plus sensible si l'absorption est due à l'acide azotique, que si elle est due à l'ammoniaque.

J'ai fait quelques essais sur divers échantillons d'eau de pluie recueillis en hiver, c'est-à-dire dans la saison où l'acide azotique est le moins abondant. Deux ou trois de ces échantillons ont donné une absorption sensible sous une épaisseur de 10 centimètres. Par exemple les eaux recueillies le 25 novembre 1877 (pluie d'orage), ainsi que le 19 février et le 1er mars 1878, interceptaient la raie 27 et affaiblissaient 26, ce qui correspond à une proportion de $2^{mg}$ d'acide azotique par litre.

Je me propose d'étudier ce point de plus près dans la suite de ces recherches.

[1] *Annales de chimie*, 1854, t. XLII, p. 428.

# BULLETIN SCIENTIFIQUE.

## ASTRONOMIE.

Raoul Gautier. Détermination de l'orbite de la Comète IV, 1873. (*Astron. Nachr. N° 2164.* 8 novembre 1877.)

La comète découverte à Marseille le 20 août 1873 par M. Borrelly a été observée, jusqu'au 20 septembre, dix jours après son passage au périhélie. Elle n'a pas été visible à l'œil nu et a présenté l'apparence d'une nébulosité circulaire d'environ $2^m$ de diamètre, avec un noyau assez brillant à son centre. L'arc d'orbite qu'elle a décrit pendant cette période ne comprend guère que 58°. Il convenait néanmoins de discuter l'ensemble des observations effectuées, et d'en tirer un système d'éléments y satisfaisant le mieux possible. C'est ce que M. Raoul Gautier a récemment exécuté après avoir classé les positions observées en cinq groupes, fournissant cinq lieux normaux, convenablement espacés entre le 22 août et le 19 septembre.

Les équations de condition calculées d'après les formules connues, ont fourni les corrections à appliquer aux éléments calculés par M. Weiss et publiés le 2 novembre 1873 dans les *Astron. Nachr.* Le calcul des positions correspondantes aux lieux normaux, avec les éléments ainsi corrigés, a fait ressortir des différences concordant d'une manière satisfaisante et suivant une loi déterminée, pouvant faire présumer une orbite elliptique. Un nouveau calcul, introduisant l'hypothèse d'une excentricité, a amené d'autres corrections qui, substituées dans les équations de condition, donnent un système d'éléments, dont les erreurs probables correspondantes

ont été calculées, trouvées satisfaisantes, et qui se résume dans le tableau suivant :

$$T = 1873 \text{ Sept. } 10{,}82084 \pm 0{,}00104 \text{ T. moy. de Berlin.}$$

$$\left.\begin{array}{l} \Pi = 64^\circ\, 22'\, 32'',3 \pm 17'',5 \\ \Omega = 230^\circ\, 35'\, 20'',2 \pm 9'',6 \\ i = 95^\circ\, 58'\, 30'',5 \pm 4'',1 \end{array}\right\} \text{Équinoxe moyen 1873,0.}$$

$$\log.\, q = 0{,}8998500 \pm 0{,}0000062$$

$$e = 0{,}996401 \pm 0{,}000209$$

A l'excentricité 0,996,4012 correspond une période de 3277,5 ± 284,8 années.

Un examen ultérieur a fait reconnaître que, pendant son apparition, la comète a passé le 2 septembre à une distance de la planète Vénus descendant jusqu'à la valeur de 0,12 du rayon moyen de l'orbite terrestre. Il était donc opportun d'évaluer l'effet troublant de cette planète sur la marche de la comète. Le calcul de l'influence de Vénus a été fait de 2 en 2 jours, pour Jupiter de 10 en 10 jours, pendant la période correspondante aux lieux normaux, et les valeurs des perturbations n'ont pas dépassé une seconde d'arc en ascension droite et en déclinaison pour l'époque du dernier. Les corrections correspondantes à appliquer aux éléments sont minimes et donnent comme système définitif d'éléments elliptiques :

$$T = 1873 \text{ Sept. } 10{,}82092 \pm 0{,}00109 \text{ T. moy. de Berlin.}$$

$$\left.\begin{array}{l} \Pi = 64^\circ\, 22'\, 36'',7 \pm 18'',3 \\ \Omega = 230^\circ\, 35'\, 24'',2 \pm 10'',0 \\ i = 95^\circ\, 58'\, 30'',7 \pm 4'',3 \end{array}\right\} \text{Équin. moyen 1873,0.}$$

$$\log.\, q = 9{,}8998540 \pm 0{,}0000065$$

$$e = 0{,}996471 \pm 0{,}000218$$

correspondant à une durée de révolution de 3375,5 ± 312,8 années.

---

## CHIMIE

W. Michler et V. Hanhardt. Sur l'acide diméthylamidophénylglyoxalique. (*Berichte*, X, 2081. Zurich.)

En chauffant ensemble deux molécules de diméthylaniline et une molécule du chlorure $COCl - COOC_2H_5$, on obtient, après purification des feuilles jaunes fusibles à 95° qui ont pour formule

$$\begin{array}{l} C_6H_4N(CH_3)_2 \\ | \\ CO \\ | \\ COOC_2H_5 \end{array}$$

Cet éther insoluble dans l'eau, saponifié par la baryte, donne l'acide, qui cristallise de sa dissolution aqueuse sous forme de feuilles ou d'aiguilles fusibles vers 187°.

---

J. Zublin. Sur l'isonitrobutane primaire. (*Berichte*, X, 2087. Zurich.)

Zublin a préparé l'*isomonobromnitrobutane.*

$$\begin{array}{l} CH_3 \diagdown \qquad \diagup H \\ \quad CH - C - Br \\ CH_3 \diagup \qquad \diagdown NO_2 \end{array}$$ huile bouillant vers 173°-175°

L'*isobinitrobutane* $(CH_3)_2CH\,CH(NO_2)_2$ huile qui se décompose à la distillation, sa vapeur ainsi que ses sels ne sont pas explosibles; le sel d'argent cristallise avec une demi-molécule d'eau.

L'*isomonobrombinitrobutane*, c'est une masse ressemblant à du camphre, douée d'une odeur insupportable, fusible vers 38°.

L'*isonitrobutylazophényle*, huile jaune soluble dans les alcalis avec une couleur jaune-rouge et qui n'a pas pu être purifiée entièrement.

---

H. Brunner et R. Brandenburg. Action de N*a* sur le protochlorure du chlorure d'éthylène. (*Berichte*, XI, 61. Lausanne.)

Dans une précédente communication ces chimistes avaient établi que la réaction est la suivante

$$4\begin{array}{l}CH_2Cl\\|\\CHCl_2\end{array} + 4\,Na_2 = 8\,NaCl + \begin{array}{l}CH\\|||\\CH\end{array} + 2\begin{array}{l}CH_2\\||\\CH_2\end{array} + 2\begin{array}{l}CHCl\\||\\CHCl\end{array} + H_2$$

et avaient en effet identifié l'acétylène, l'éthylène et le dichloréthylène, maintenant ils ont aussi isolé l'hydrogène complétement et prouvé sa présence en le combinant avec de l'oxygène.

---

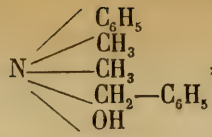
W. Michler et A. Gradmann. Sur la diméthylaniline. (*Berichte*, X, 2078. Zurich.)

Si l'on mélange des molécules égales de chlorbenzyle et de diméthylaniline, au bout de peu de temps à la température ordinaire, on obtient une masse cristalline, et par des cristalisations répétées on isole un corps qui a pour formule

$$N\begin{cases}C_6H_5\\CH_3\\CH_3\\CH_2 - C_6H_5\\Cl\end{cases} + H_2O$$

il est insoluble dans l'éther, bien dans l'eau et l'alcool, il fond vers 110°; distillé, il se sépare en ses constituants, chlorbenzyle et diméthylaniline, mais si on le chauffe sous pression vers 220° pendant plusieurs heures, on obtient les chlorures de plusieurs bases non encore étudiées.

La base elle-même s'obtient de son chlorure en traitant par du sulfate d'argent, puis par de la baryte. C'est une masse syrupeuse se transformant à l'air en carbonate. Distillée, on obtient de l'alcool benzylique et de la diméthylaniline suivant la réaction




$$= C_6H_5CH_2OH + C_6H_5N(CH_3)_2$$

---

TH. DIEHL. DÉRIVÉS DE L'ANTHRACÈNE. (*Berichte*, XI, 173. Zurich.)

Ce chimiste a obtenu les corps suivants :

| | |
|---|---|
| $C_{14}H_8Cl_2.Cl_4$ | fusible à 141°-145°. |
| $C_{14}H_4Cl_6$ | — 320°-330°. |
| $C_{14}H_3Cl_7$ | — au-dessus de 360°. |
| $C_{14}H_2Cl_8$ | soluble dans la nitrobenzine, le sulfure de carbone. |
| $C_{14}H_4Br_6$ | fusible à 310°-320° soluble dans la benzine. |
| $C_{14}H_3Br_7$ | non fusible à 350°, soluble dans le chloroforme. |
| $C_{14}H_2Br_8$ | très-peu soluble dans l'aniline, aiguilles. |

Il a aussi chloré et bromé de l'anthraquinone et obtenu

| | |
|---|---|
| $C_{14}H_5Cl_6O_2$ | fusible à 284°-290° aiguilles. |
| $C_{14}H_4Cl_4O_2$ | — 320°-330°. |
| $C_{14}H_3Cl_5O_2$ | sublime sans fondre. |
| $C_{14}H_5Br_3O_2$ | fond à 186° aiguilles. |
| $C_{14}H_4Br_4O_2$ | fond à 295°-300°. |
| $C_{14}H_3Br_5O_2$ | sublime difficilement sans fondre. |

En fondant la tribromanthraquinone avec un alcali caustique, il a obtenu la purpurine $C_{14}H_5O_2(OH)_3$. Mais si on maintient en fusion pendant trop longtemps, la purpurine s'oxyde et on obtient une oxypurpurine $C_{14}H_4O_2(OH)_4$, dont le dérivé acetylé fond à 240. Par la fusion de la tétrabromanthraquinone avec un alcali, il a obtenu un nouvel isomère de la purpurine.

En traitant enfin l'alizarine elle-même par des chlorurants et des bromurants, Diehl a obtenu :

$C_{14} H_7 Cl O_4$ fusible à 244°-248° sublime en aiguilles rouges.

$C_{14} H_6 Cl_2 O_4$ — 208°-210° cristaux d'un jaune orange.

$C_{14} H_4 Cl_4 O_4$ commence à fondre vers 260°. en se décomposant, ce n'est plus matière colorante.

$C_{14} H^7 Br O_4$ fusible à 280°.

$C_{14} H_6 Br_2 O_4$ — 168°-170° aiguilles.

$C_{14} H_4 Br_4 O_4$ se décompose en sublimant et n'est plus une matière cotorante.

En résumé, il ressort de ces recherches que l'anthracène peut échanger 8 H contre des halogènes, mais ces dérivés s'obtiennent de plus en plus difficilement, deviennent de moins en moins solubles dans les réactifs, moins fusibles, et par contre de plus en plus sublimables à chaque adjonction d'un nouvel atome d'halogène. Il n'a point observé de cas d'isomérie.

L'anthraquinone se comporte de même, mais on ne peut plus remplacer que 5 atomes d'H., et par la fusion avec un alcali, on peut remplacer l'halogène par un hydroxyle; mais pour les produits de substitution renfermant plus de 3 halogènes, on ne peut les enlever tous par la fusion avec la potasse.

Enfin pour l'alizarine, plus on introduit d'halogène dans la molécule, plus ses propriétés tinctoriales disparaissent.

---

## ZOOLOGIE, ANATOMIE ET PALÉONTOLOGIE.

Le Conte. — Quelques réflexions sur la fonction glycogénique du foie et sur ses relations avec la force vitale et la chaleur animale. (*American Journal*, février 1878, p. 99.)

La constance de la présence du foie dans la série animale montre quelle est l'importance de cet organe. Et pourtant

malgré cette grande importance, quelles lacunes dans l'étude complexe de ses fonctions!

Laboratoire de la bile et du sucre, le foie est un organe à la fois sécréteur et excréteur dont l'étude nous donne les résultats suivants :

1° Chez les carnivores, le sang de la veine porte ne contient pas de sucre, tandis que celui des veines sushépatiques en contient constamment.

2° Le foie dépouillé par le lavage de toute trace de sucre en contient de nouveau après être resté quelques instants au contact de l'air.

3° Si on conserve le foie plus longtemps dans les mêmes conditions, la présence du sucre se constate même au goût.

4° Le sucre se forme continuellement dans le foie, aux dépens du *glycogène*, substance blanche, amorphe, de composition semblable à celle de la dextrine ou de l'amidon, et se changeant rapidement en sucre par le simple contact du sang ou d'un ferment albuminoïde.

5° Le sucre dérivé du glycogène diffère de la glycose par sa structure moléculaire plus instable, qui lui permet d'être brûlé ou oxydé avec plus de facilité dans le sang.

6° Cette transformation du glycogène en sucre n'est qu'un simple processus chimique et non vital qui a lieu après la mort aussi bien que pendant la vie.

7° Par une nourriture amyloïde abondante un homme sain peut introduire dans son sang 2 livres de sucre.

8° Cette quantité de sucre ne se retrouve pas dans le sang. La plus grande partie est consumée à mesure qu'il se produit.

Les substances sucrées arrivent dans le foie pour s'y transformer en glycogène qui, peu à peu, se transforme en sucre de foie plus oxydable. Il y a donc double transformation, d'abord de sucre en glycogène par hydratation, et de glycogène en sucre encore par hydratation. Le foie est un réservoir de combustible.

Quand la nourriture amyloïde est insuffisante, les matières

albuminoïdes, ainsi que les tissus usés, sont aussi brûlées dans les poumons (comme sucre) laissant un résidu azoté éliminé par les reins. Or, les détritus des tissus seront remplacés par un nouvel apport de substances albuminoïdes qui, à leur tour, seront aussi détruites. *Le matériel destiné à produire du glycogène est donc représenté par la nourriture totale que le foie prépare continuellement pour l'élimination finale par les poumons et par les reins (un seul organe chez les insectes) en produisant par leur combustion de la force vitale et de la chaleur animale.*

Donc, le seul combustible dans le corps humain est le sucre du foie (si l'on excepte les graisses, dont le mode de combustion est encore inconnu).

On peut comprendre maintenant quelles graves conséquences peut avoir la cessation de la fonction glycogénique du foie. Mais qu'on ne s'y trompe pas, cette fonction ne consiste pas dans la transformation du glycogène en sucre (processus purement chimique), mais bien dans la production du glycogène (processus vital).

Dans le *diabète sucré* le sucre est éliminé en grande quantité par les reins, parce qu'il n'a pas subi préalablement les transformations hépatiques qui lui sont indispensables pour devenir oxydable. Il ne reste plus alors comme combustible que les albuminoïdes.

Il y a une analogie très-intéressante entre la glycogénie et la propriété qu'ont certaines plantes de transformer la dextrine et le sucre solubles en amidon insoluble, qu'elles transforment de nouveau en dextrine ou en sucre soluble. C'est un dépôt. Or, un dépôt soluble serait bientôt épuisé par les liquides circulant dans la plante.

Chez les animaux inférieurs et les embryons la fonction glycogénique n'est pas encore localisée, elle est propre à tout le tissu dans son ensemble.

Beaucoup de physiologistes disent que les aliments respiratoires ne servent qu'à produire de la chaleur; mais la machine humaine, pas plus qu'une machine à vapeur, ne sont

faites pour produire de la chaleur, mais bien pour engendrer de la force.

L'auteur de ce mémoire trouve dans les expériences de M. le prof. Schiff « *sur une nouvelle fonction du foie,* » une confirmation de son hypothèse que les détritus des tissus vivants servent à la formation du glycogène dans le foie, aussi appelle-t-il cette *nouvelle fonction* une simple extension de la fonction glycogénique. La ligature de la veine porte cause rapidement la mort par intoxication, par décomposition des détritus des tissus qui ne peuvent plus se transformer en glycogène dans le foie.

A. D.

---

A. Agassiz. On the young stages of some osseous Fishes. I. Development of the Tail. *(Proceed. Amer. Acad. of Arts and Sciences.* Vol. XIII. Oct. 1877.)

Dans ce mémoire consacré à l'étude du développement de la queue chez les poissons, l'auteur rapporte des observations détaillées faites principalement sur les Pleuronectes. Les conclusions auxquelles il arrive ont, comme on le verra plus loin, un grand intérêt au point de vue de la succession des formes dans les poissons fossiles.

Le jeune Pleuronecte, au sortir de l'œuf, a l'extrémité postérieure de sa corde dorsale droite et sa nageoire caudale est arrondie. Bientôt, l'extrémité de la corde dorsale s'arque légèrement en dessus et offre une concavité du côté de la face ventrale ; c'est à ce moment qu'apparaît la première trace de séparation entre la nageoire caudale embryonnaire et la caudale permanente ainsi que la première indication des rayons principaux et des rayons accessoires de la queue. Dans la période suivante l'échancrure qui existe entre la caudale embryonnaire et la caudale permanente est devenue plus profonde et la corde est plus arquée; les rayons sont bien marqués et la caudale permanente dépasse en arrière la nageoire embryonnaire.

Par la suite du développement, la caudale embryonnaire

prend la forme d'un grand lobe indépendant; la nageoire permanente s'étend entièrement au-dessous d'elle et forme une nageoire distincte ayant l'apparence d'une seconde anale. Arrivée à ce point, la région caudale d'un Pleuronecte offre une ressemblance frappante avec celle du jeune Lepidostée telle qu'elle a été décrite et figurée par Wilder[1].

L'arc formé par l'extrémité caudale de la corde devient encore plus prononcé et la caudale permanente s'étend d'abord aussi loin que la caudale embryonnaire et ensuite la dépasse en arrière.

La caudale embryonnaire est rejetée de plus en plus en haut et les rayons de la caudale permanente prennent une disposition en éventail.

En même temps que se font ces derniers changements, on voit s'opérer une disparition de la notochorde qui précède la formation de l'urostyle. La caudale embryonnaire disparaît aussi de plus en plus et finit par ne plus se présenter que sous la forme d'un petit épaississement semi-transparent de la ligne dorsale.

Par contre la nageoire permanente augmente continuellement; de pointue qu'elle était, elle devient arrondie et prend les formes qu'on lui trouve chez l'adulte. En même temps on voit se faire l'ossification des vertèbres, apparaître les cartilages qui supportent les rayons, etc.

M. A. Agassiz a observé ces mêmes phases de développement de la nageoire caudale embryonnaire dans un grand nombre d'autres genres de poissons appartenant à plusieurs familles. Chez tous, la queue passe graduellement de l'état d'un appendice ventral situé au-dessous de la colonne dorsale à celui d'une queue terminale placée en continuation de la ligne des vertèbres. La distinction entre les deux nageoires se retrouve toujours, mais d'une manière plus ou moins tranchée.

[1] Notes on the American Ganoids. *Proceed. Am. Assoc. Adv. Sc.* 1876. Detroit Meeting.

Voyons maintenant quelles sont les conséquences que l'auteur tire de ses observations.

Huxley et van Beneden ont combattu la théorie d'Agassiz et Vogt sur le parallélisme qui existerait entre les queues embryonnaires des poissons osseux actuels et celles des poissons qui ont apparu avant la période jurassique. Huxley s'appuye sur le fait que les poissons osseux de l'époque actuelle ont une queue à structure réellement hétérocerque. Van Beneden fait remarquer que chez les Plagiostomes la queue commence par être homocerque avant de devenir hétérocerque, tandis que selon la théorie d'Agassiz et Vogt les jeunes Plagiostomes devraient avoir une queue éminemment homocerque.

M. A. Agassiz admet bien avec Huxley que la forme de queue appelée homocerque par L. Agassiz et Vogt n'est due qu'à une apparence extérieure trompeuse ; il reconnaît aussi avec van Beneden que les jeunes Plagiostomes ont, dans les premiers temps de leur développement une queue strictement homocerque; mais il estime néanmoins que ni l'un ni l'autre de ces deux anatomistes n'ont renversé l'ancienne théorie d'Agassiz et Vogt et que l'on doit conserver cette grande généralisation de la concordance du développement embryonnaire avec le développement paléontologique. Il faut seulement faire un pas de plus et interpréter un peu différemment qu'Agassiz et Vogt, la disposition de la queue qui prédomine tellement chez les poissons osseux de l'époque actuelle. On doit d'abord constater que l'hétérocercie ne correspond pas au premier stade, et que ni Baer, ni Agassiz et Vogt n'ont prétendu cela, mais ont seulement indiqué cette disposition comme caractérisant *un des premiers* états du développement. En réalité, le poisson au sortir de l'œuf a une queue presque symétrique, la notochorde s'étendant en ligne droite dans la direction de l'extrémité caudale. Ce stade qui représente la première forme de queue des téléostéens aussi bien que des autres groupes et qui précède celui

de la queue hétérocerque proprement dite, est ce que M. A. Agassiz propose d'appeler l'état *leptocardial*.

Ainsi, au point de vue embryogénique, la queue des Sélaciens est formée tout à fait en accord avec les lois de développement des autres poissons, et il reste seulement à voir comment cela concorde avec l'histoire paléontologique.

Si l'on examine la queue des poissons dévoniens, on est frappé du parallélisme exact qui existe sous ce rapport entre ces anciens représentants du groupe et les stades successifs de la queue des Pleuronectes.

Parmi les genres dévoniens, il y en a dont la queue est nettement leptocardiale (ex. Glyptolæmus, Gyroptychius); d'autres ont une queue légérement modifiée et offrant une très-faible tendance à l'hétérocercie (Holoptychius et Osteolepis); ensuite viennent les genres Glyptolepis, etc., où l'hétérocercie est plus marquée; et, enfin, dans le genre Dipterus le caractère hétérocerque se montre bien accusé.

Le parallélisme entre les genres fossiles et les stades embryonnaires des poissons osseux actuels est encore plus frappant si l'on examine des formes telles que les Phaneropleuron et Tristichopterus où la queue est lobée, la colonne dorsale pénétrant dans le lobe dorsal comme dans les jeunes Pleuronectes.

Les genres Acanthodes, Diplacanthus, Cheirolepis, etc., du vieux grès rouge représentent les stades des Pleuronectes dans lesquels il y a une première indication de la séparation entre la vraie caudale et la caudale embryonnaire.

Dans les modifications ultérieures de la queue des poissons fossiles il y a une tendance à la diminution graduelle du lobe embryonnaire ou supérieur et au développement prédominant de ce qui doit devenir le lobe caudal proprement dit.

En comparant les formes les plus anciennes avec les genres Platysomus, Semionotus, Lepidotus, et enfin Pachycormus, nous constatons, comme dans le développement des Téléostéens de l'époque actuelle, une approche graduelle à une queue extérieurement homocerque.

A ces faits démontrant le parallélisme qui existe entre le développement embryonnaire et le développement paléontologique de la queue, M. Agassiz en ajoute quelques autres tirés de caractères de Ganoïdes anciens qui se retrouvent chez les embryons des téléostéens.

Si l'on voulait formuler les conclusions de M. Al. Agassiz en employant le langage Haeckelien, on pourrait dire qu'elles apportent une preuve de plus en faveur de la loi d'après laquelle « l'Ontogénèse est la récapitulation brève et rapide de la Phylogénèse. »

A. H.

---

## BOTANIQUE.

Bouvier (Louis, Dr). Flore des Alpes de la Suisse et de la Savoie. 1 vol. in-8o. Paris, 1878.

Les flores de Suisse sont toutes en latin ou en allemand. Il y a une bonne flore du canton de Vaud, par M. Rapin, et plusieurs catalogues d'autres cantons, utiles à consulter quand on connaît les plantes, mais les nombreux amateurs qui visitent, chaque année, la Suisse et la Savoie avaient besoin d'un ouvrage portatif, en français, donnant les caractères des espèces et leurs principales localités. C'est cette lacune que la Flore de M. le Dr Bouvier vient combler. Les caractères de genres et d'espèces sont rédigés en français, d'une manière comparative, d'après un plan sur lequel l'auteur avait consulté M. A. de Candolle, et qui est du reste celui des bonnes flores modernes de divers pays. Les espèces ne sont pas multipliées outre mesure, ce qui rend les recherches plus faciles. M. Bouvier indique fréquemment les localités de la Savoie, pays dans lequel il a beaucoup herborisé. Un vocabulaire des mots techniques, à la fin du volume, sera bon à consulter pour les personnes un peu novices en botanique.

---

# OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

## FAITES A L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

sous la direction de

**M. le prof. E. PLANTAMOUR**

PENDANT LE MOIS DE FÉVRIER 1878.

---

Le 2, la bise se lève dans la soirée et elle souffle assez fortement jusqu'au lendemain soir.
6, brouillard une partie du jour.
7, id.
8, brouillard tout le jour.
9, id.
10, brouillard le matin ; dépôt de givre.
11, brouillard le matin.
13, forte gelée blanche le matin, par un ciel très-clair; puis brouillard jusqu'à 6 h. du soir; halo lunaire à 8 h. du soir.
14, gelée blanche le matin, puis brouillard le reste du jour; bruine à 4 h.
16, brouillard le matin.
17, forte gelée blanche le matin.
18, id. ; la pluie commence à 10 h. du soir et dure toute la nuit.
19, forte bise depuis 2 h. après midi jusqu'au soir.
21, gelée blanche le matin.
22, id. ; brouillard à plusieurs reprises dans la journée.
23, forte gelée blanche le matin : faible brouillard à plusieurs reprises.
24, gelée blanche le matin.
25, id.
27, gelée blanche le matin ; léger brouillard à plusieurs reprises ; à 4 h. après midi faible halo solaire.

## *Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.*

| MAXIMUM. | | MINIMUM. | |
|---|---|---|---|
| | mm | | mm |
| Le 1er à 10 h. matin | 732,78 | Le 2 à 10 h. soir | 727,69 |
| 5 à midi | 739,12 | 6 à 4 h. après midi | 737,16 |
| 7 à 8 h. soir | 739,68 | 11 à 4 h. après midi | 724,54 |
| 13 à 8 h. matin | 735,08 | 14 à 4 h. après midi | 731,05 |
| 17 à 10 h. matin | 740,48 | 20 à 4 h. après midi | 734,30 |
| 22 à 8 h. matin | 740,47 | 25 à 2 h. après midi | 728,80 |
| 28 à 10 h. soir | 734,54 | | |

| Jours du mois. | Baromètre. Hauteur moy. des 24 h. | Baromètre. Écart avec la hauteur normale | Température C. Moyenne des 24 heures | Température C. Écart avec la temp. normale | Température C. Minim. | Température C. Maxim. | Tension de la vap. Moy. des 24 h. | Tension de la vap. Écart avec la tension normale. | Fract. de saturation en millièmes Moy. des 24 h. | Fract. de saturation en millièmes Écart avec la fraction norm. | Fract. de saturation en millièmes Minim. | Fract. de saturation en millièmes Maxim. | Pluie ou neige Eau tomb. d. les 24 h. | Pluie ou neige Nomb. d'h. | Vent dominant. | Clarté moy. du Ciel. | Temp. du Rhône Midi. | Temp. du Rhône Écart avec la temp. normale. | Limnimètre à 11 h. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | millim. | millim. | ° | ° | ° | ° | millim. | millim. | | | | | mm. | | | | ° | ° | cm |
| 1 | 732,25 | + 4,80 | — 2,31 | — 2,76 | — 5,2 | + 1,2 | 2,98 | —1,24 | 759 | — 86 | 610 | 810 | ... | ... | NE. 1 | 0,73 | +4,5 | — 0,3 | 109,0 |
| 2 | 729,25 | + 1,84 | — 0,83 | — 1,34 | — 3,1 | + 1,5 | 3,41 | —0,82 | 783 | — 60 | 670 | 840 | ... | ... | NE. 2 | 0,42 | 4,3 | — 0,5 | 109,0 |
| 3 | 729,18 | + 1,82 | + 0,52 | — 0,06 | — 0,5 | + 2,5 | 3,38 | —0,86 | 715 | —127 | 660 | 750 | ... | ... | NE. 3 | 0,38 | ... | ..... | 112,0 |
| 4 | 734,47 | + 7,16 | — 0,67 | — 1,32 | — 2,5 | + 1,2 | 3,52 | —0,73 | 800 | — 40 | 700 | 850 | ... | ... | NE. 2 | 0,94 | 4,5 | — 0,3 | 105,5 |
| 5 | 738 60 | +11,34 | — 1,69 | — 2,41 | — 3,6 | + 0,6 | 3,49 | —0,77 | 865 | + 26 | 750 | 970 | ... | ... | variable | 0,59 | 4,5 | — 0,3 | 106,2 |
| 6 | 737,93 | +10,72 | — 2,33 | — 3,13 | — 5,0 | 0,0 | 3,57 | —0,70 | 909 | + 72 | 800 | 940 | ... | ... | variable | 0,90 | 4,6 | — 0,2 | 104,8 |
| 7 | 738,87 | +11,71 | — 2,74 | — 3,61 | — 3,5 | + 0,1 | 3,42 | —0,86 | 914 | + 79 | 860 | 920 | ... | ... | NE. 1 | 1,00 | 4,5 | — 0,3 | 105,2 |
| 8 | 738,62 | +11,51 | — 2,59 | — 3,54 | — 3,7 | — 0,9 | 3,62 | —0,67 | 957 | +123 | 890 | 1000 | ... | ... | E. 1 | 1,00 | 4,6 | — 0,2 | 104,4 |
| 9 | 734,91 | + 7,86 | — 2,95 | — 3,98 | — 3,8 | — 0,9 | 3,54 | —0,75 | 961 | +129 | 860 | 1000 | ... | ... | variable | 1,00 | 4,6 | — 0,3 | 102,1 |
| 10 | 729,15 | + 2,15 | — 0,97 | — 2,08 | — 5,4 | + 4,9 | 3,74 | —0,56 | 870 | + 40 | 350 | 1000 | ... | ... | variable | 0,63 | ... | ..... | 103,5 |
| 11 | 725,02 | — 1,92 | + 0,63 | — 0,57 | — 4,7 | + 5,9 | 3,82 | —0 49 | 800 | — 28 | 490 | 1000 | ... | ... | variable | 0,60 | 4,7 | — 0,2 | 100,8 |
| 12 | 729,85 | + 2,97 | + 3,29 | + 2,01 | — 0,3 | + 8,6 | 4,57 | +0,25 | 787 | — 39 | 540 | 910 | ... | ... | variable | 0,49 | 4,9 | 0,0 | 101,0 |
| 13 | 734,33 | + 7,51 | — 0,61 | — 1,98 | — 3,4 | + 2,8 | 4,08 | —0,25 | 917 | + 93 | 790 | 1000 | ... | ... | S. 1 | 0,61 | 4,8 | — 0,1 | 101,3 |
| 14 | 731,77 | + 5,01 | + 2,30 | + 0,84 | — 2,7 | + 6,1 | 4,61 | +0,28 | 832 | + 10 | 700 | 960 | ... | ... | variable | 0,91 | 4,8 | — 0,2 | 99,1 |
| 15 | 733,51 | + 6,81 | + 4,63 | + 3,08 | + 1,4 | +10,1 | 5,28 | +0,94 | 826 | + 6 | 590 | 940 | ... | ... | variable | 0,10 | 4,9 | — 0,1 | 100,5 |
| 16 | 738,13 | +11,49 | + 4,98 | + 3,34 | + 1,2 | +11,0 | 5,18 | +0,83 | 795 | — 23 | 570 | 980 | ... | ... | variable | 0,40 | 4,9 | — 0,1 | 98,5 |
| 17 | 739,03 | +12,45 | + 3,64 | + 1,90 | — 1,8 | +11,0 | 4,96 | +0,60 | 824 | + 8 | 530 | 1000 | ... | ... | NNE. 1 | 0,00 | ... | ..... | 97,0 |
| 18 | 735,99 | + 9,47 | + 5,56 | + 3,73 | — 1,0 | +13,1 | 5,41 | +1,04 | 770 | — 44 | 530 | 940 | 1,9 | 2 | variable | 0,64 | 5,1 | 0,0 | 98,0 |
| 19 | 735,50 | + 9,04 | + 5,91 | + 3,98 | + 4,6 | + 8,8 | 5,37 | +0,99 | 778 | — 34 | 540 | 980 | 4,7 | 5 | NE. 2 | 0,51 | 5,8 | + 0,7 | 101,0 |
| 20 | 734,95 | + 8,56 | + 4,05 | + 2,02 | + 1,0 | + 8,4 | 5,13 | +0,75 | 837 | + 27 | 660 | 940 | ... | ... | variable | 0,30 | 6,3 | + 1,2 | 99,5 |
| 21 | 738,96 | +12,63 | + 3,32 | + 1,19 | — 1,5 | + 8,8 | 5,00 | +0,61 | 843 | + 36 | 550 | 960 | ... | ... | NNE. 1 | 0,12 | 6,1 | + 1,0 | 99,6 |
| 22 | 739,46 | +13,19 | + 3,41 | + 1,18 | — 1,0 | + 7,2 | 5,11 | +0,71 | 854 | + 49 | 700 | 950 | ... | ... | SO. 1 | 0,56 | 5,9 | + 0,7 | 100,0 |
| 23 | 735,51 | + 9,31 | + 3,58 | + 1,25 | — 1,2 | + 9,8 | 5,09 | +0,68 | 836 | + 33 | 620 | 980 | ... | ... | NNE. 1 | 0,26 | 6,3 | + 1,1 | 98,0 |
| 24 | 731,74 | + 5,60 | + 3,78 | + 1,34 | — 0,7 | + 9,2 | 4,87 | +0,45 | 807 | + 7 | 610 | 980 | ... | ... | NNE. 1 | 0,44 | ... | ..... | 98,0 |
| 25 | 729,38 | + 3,30 | + 4,22 | + 1,68 | — 1,8 | + 9,7 | 4,39 | +0,16 | 730 | — 68 | 550 | 950 | ... | ... | NNE. 1 | 0,41 | 6,5 | + 1,2 | 100,3 |
| 26 | 733,31 | + 7,30 | + 5,29 | + 2,64 | + 2,8 | +10,0 | 4,99 | +0,35 | 748 | — 48 | 600 | 850 | ... | ... | N. 1 | 0,23 | 6,5 | + 1,2 | 96,9 |
| 27 | 732,28 | + 6,33 | + 3,70 | + 0,94 | — 1,5 | +10,0 | 4,90 | +0,45 | 795 | + 2 | 660 | 910 | ... | ... | variable | 0,41 | 6,7 | + 1,4 | 99,1 |
| 28 | 733,14 | + 7,25 | + 8,38 | + 5,51 | + 5,2 | +11,0 | 6,97 | +2,51 | 838 | + 47 | 680 | 1009 | 7,2 | 12 | SO. 2 | 0,99 | 6,7 | + 1,3 | 96,2 |

# MOYENNES DU MOIS DE FÉVRIER 1878.

| | 6 h. m. | 8 h. m. | 10 h. m. | Midi. | 2 h. s. | 4 h. s. | 6 h. s. | 8 h. s. | 10 h. s. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Baromètre.** | | | | | | | | | |
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1re décade | 734,34 | 734,69 | 734,85 | 734,62 | 734,00 | 733,91 | 734,16 | 734,28 | 734,31 |
| 2e » | 733,69 | 734,21 | 734,35 | 734,18 | 733,40 | 733,38 | 733,76 | 734,13 | 734,42 |
| 3e » | 734,13 | 734,93 | 735,00 | 734,59 | 733,73 | 733,48 | 733,71 | 734,01 | 734,10 |
| Mois | 734,13 | 734,59 | 734,71 | 734,45 | 733,71 | 733,60 | 733,89 | 734,15 | 734,29 |
| **Température.** | | | | | | | | | |
| | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° |
| 1re décade | — 3,01 | — 2,81 | — 2,00 | — 0,52 | + 0,45 | + 0,40 | — 0,22 | — 0,78 | — 1,43 |
| 2e » | + 0,26 | + 0,64 | + 3,71 | + 6,29 | + 7,66 | + 7,12 | + 5,78 | + 4,00 | + 2,52 |
| 3e » | + 0,90 | + 1,60 | + 5,55 | + 7,57 | + 8,02 | + 7,91 | + 6,91 | + 5,31 | + 3,96 |
| Mois | — 0,73 | — 0,32 | + 2,20 | + 4,22 | + 5,19 | + 4,95 | + 3,96 | + 2,66 | + 1,52 |
| **Tension de la vapeur.** | | | | | | | | | |
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1re décade | 3,26 | 3,22 | 3,36 | 3,47 | 3,43 | 3,67 | 3,74 | 3,71 | 3,56 |
| 2e » | 4,44 | 4,51 | 4,92 | 4,90 | 4,66 | 5,07 | 5,20 | 5,14 | 4,95 |
| 3e » | 4,47 | 4,58 | 5,21 | 5,35 | 5,41 | 5,12 | 5,57 | 5,63 | 5,21 |
| Mois | 4,03 | 4,07 | 4,45 | 4,52 | 4,43 | 4,70 | 4,79 | 4,77 | 4,53 |
| **Fraction de saturation en millièmes.** | | | | | | | | | |
| 1re décade | 890 | 867 | 855 | 789 | 733 | 781 | 827 | 858 | 864 |
| 2e » | 942 | 930 | 820 | 683 | 597 | 671 | 754 | 841 | 896 |
| 3e » | 910 | 890 | 766 | 685 | 674 | 690 | 749 | 825 | 854 |
| Mois | 914 | 896 | 817 | 721 | 668 | 716 | 779 | 842 | 873 |

| | Therm. min. | Therm. max. | Clarté moy. du Ciel. | Température du Rhône. | Eau de pluie ou de neige. | Limnimètre. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ° | ° | | ° | mm | cm |
| 1re décade | — 3,63 | + 1,02 | 0,76 | + 4,51 | — | 106,2 |
| 2e » | — 0,57 | + 8,58 | 0,46 | + 5,13 | 6,6 | 99,7 |
| 3e » | + 0,04 | + 9,46 | 0,43 | + 6,39 | 7,2 | 98,5 |
| Mois | — 1,49 | + 6,13 | 0,56 | + 5,29 | 13,8 | 101,7 |

Dans ce mois, l'air a été calme 0,4 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 2,03 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 53°,9 E. et son intensité est égale à 32,3 sur 100.

# TABLEAU

DES

# OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

## FAITES AU GRAND SAINT-BERNARD

pendant

## LE MOIS DE FÉVRIER 1878.

Du 1er au 10, ciel constamment très-clair.
Le 11, brouillard tout le jour.
12, assez forte bise tout le jour.
14, brouillard le matin.
15, dans la nuit du 14 au 15 il est tombé une très-faible quantité de neige qui n'a pas pu être mesurée.
18, brouillard une partie de la journée.
19, neige et brouillard une partie de la journée ; forte bise.
20, assez fort vent de SO. dans la matinée.
24, brouillard une partie de la journée.
25, brouillard toute la journée par une forte bise ; neige le soir.
26, forte bise presque tout le jour.
27, brouillard une partie de la journée.
28, neige et brouillard tout le jour par une forte bise.

### *Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.*

| MAXIMUM | mm | MINIMUM. | mm |
|---|---|---|---|
| Le 1er à 8 h. soir | 562,65 | Le 2 à 8 h. soir | 557,74 |
| 5 à 10 h. soir | 571,18 | 6 à 4 h. après midi | 569,57 |
| 7 à 10 h. soir | 572,45 | 11 à 6 h. soir | 559,78 |
| 13 à 10 h. soir | 567,78 | 14 à 6 h. soir | 565,83 |
| 17 à 8 h. matin | 574,61 | 19 à 2 h. après midi | 567,17 |
| 22 à 10 h. matin | 572,32 | 25 à 4 h. après midi | 562,57 |
| 28 à 10 h. soir | 569,18 | | |

# SAINT-BERNARD. — FÉVRIER 1878.

| Jours du mois. | Baromètre. Hauteur moy. des 24 heures. | Baromètre. Écart avec la hauteur normale. | Baromètre. Minimum. | Baromètre. Maximum. | Température C. Moyenne des 24 heures. | Température C. Écart avec la température normale. | Température C. Minimum* | Température C. Maximum* | Pluie ou neige. Hauteur de la neige. | Pluie ou neige. Eau tombée dans les 24 h. | Pluie ou neige. Nombre d'heures. | Vent dominant. | | Clarté moyenne du Ciel. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | millim. | millim. | millim. | millim. | ° | ° | ° | ° | millim. | millim. | | | | |
| 1 | 562,20 | + 1,75 | 561,24 | 562,65 | —11,07 | — 2,00 | —13,8 | — 5,8 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,09 |
| 2 | 559,21 | — 1,21 | 557,74 | 560,66 | —13,43 | — 4,37 | —13,9 | —11,9 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,04 |
| 3 | 560,88 | + 0,50 | 559,25 | 563,03 | — 8,71 | + 0,34 | —12,0 | — 6,2 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,02 |
| 4 | 566,35 | + 6,01 | 564,60 | 568,20 | — 4,87 | + 4,17 | — 6,3 | — 0,2 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,00 |
| 5 | 570,26 | + 9,96 | 569,29 | 571,18 | — 4,36 | + 4,67 | — 7,0 | + 0,2 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,00 |
| 6 | 570,02 | + 9,75 | 569,57 | 570,45 | — 2,95 | + 6,07 | — 4,2 | 0,0 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,02 |
| 7 | 571,24 | +11,01 | 570,53 | 572,44 | — 2,01 | + 7,00 | — 3,8 | + 2,3 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,00 |
| 8 | 570,93 | +10,73 | 569,94 | 571,69 | — 2,15 | + 6,84 | — 3,7 | + 0,9 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,04 |
| 9 | 568,14 | + 7,97 | 567,43 | 569,18 | — 1,67 | + 7,30 | — 4,0 | + 1,4 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,18 |
| 10 | 563,75 | + 3,61 | 562,44 | 565,61 | — 3,85 | + 5,10 | — 7,0 | — 0,4 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,02 |
| 11 | 559,99 | — 0,11 | 560 59 | 559,78 | — 7,09 | + 1,84 | — 8,5 | — 4,5 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,96 |
| 12 | 562,35 | + 2,28 | 560,16 | 565,87 | — 9,08 | — 0,17 | —10,1 | — 7,0 | ..... | ..... | .... | NE. | 2 | 0,07 |
| 13 | 567,07 | + 7,03 | 565,93 | 567,78 | — 4,35 | + 4,53 | — 7,0 | — 1,0 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,64 |
| 14 | 566,22 | + 6,21 | 565,83 | 566,82 | — 3,01 | + 5,84 | — 5,3 | + 1,1 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,22 |
| 15 | 568,37 | + 8,39 | 566,70 | 569,78 | — 4,06 | + 4,76 | — 5,8 | — 0,8 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,41 |
| 16 | 572,53 | +12,58 | 570,76 | 574,29 | — 2,41 | + 6,38 | — 5,4 | + 0,9 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,00 |
| 17 | 574,14 | +14,22 | 573,80 | 574,61 | — 0,82 | + 7,94 | — 2,9 | + 3,5 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,16 |
| 18 | 570,69 | +10,80 | 569,92 | 571,80 | — 1,11 | + 7,62 | — 3,3 | + 1,6 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,68 |
| 19 | 567,47 | + 7,60 | 567,17 | 568,11 | — 7,05 | + 1,64 | — 7,4 | — 6,2 | 70 | 4,6 | .... | NE. | 2 | 0,64 |
| 20 | 568,84 | + 8,99 | 568,31 | 569,92 | — 5,98 | + 2,67 | — 6,7 | — 4,0 | ..... | ..... | .... | SO. | 2 | 0,00 |
| 21 | 571,42 | +11,59 | 570,58 | 572,26 | — 6,93 | + 1,68 | — 8,8 | — 4,2 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,00 |
| 22 | 571,86 | +12,05 | 571,53 | 572,32 | — 2,97 | + 5,60 | — 6,8 | + 0,5 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,38 |
| 23 | 569,74 | + 9,95 | 569,23 | 570,65 | — 1,85 | + 6,68 | — 2,7 | — 0,4 | .... | ..... | .... | SO. | 1 | 0,63 |
| 24 | 566,20 | + 6,43 | 565,36 | 567,34 | — 3,55 | + 4,94 | — 5,1 | 0,0 | ..... | ..... | .... | SO. | 1 | 0,91 |
| 25 | 563,24 | + 3,49 | 562,57 | 564,03 | — 7,38 | + 1,06 | — 7,6 | — 5,8 | 40 | 3,0 | .... | NE. | 2 | 0,98 |
| 26 | 566,54 | + 6,81 | 564,65 | 568,05 | — 6,30 | + 2,09 | — 8,4 | — 3,4 | ..... | ..... | .... | NE. | 2 | 0,27 |
| 27 | 567,75 | + 8,04 | 567,52 | 568,01 | — 1,65 | + 6,69 | — 4,8 | + 2,0 | ..... | ..... | .... | NE. | 1 | 0,44 |
| 28 | 568,12 | + 8,42 | 567,21 | 569,18 | — 1,75 | + 6,54 | — 5,3 | + 2,3 | 180 | 12,4 | .... | NE. | 2 | 0,99 |

* Ces colonnes renferment la plus basse et la plus élevée des températures observées de 6 h. matin à 10 h. soir.

# MOYENNES DU MOIS DE FÉVRIER 1878.

| | 6 h. m. | 8 h. m. | 10 h. m. | Midi. | 2 h. s. | 4 h. s. | 6 h. s. | 8 h. s. | 10 h. s. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Baromètre.** | | | | | | | | | |
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1re décade | 566,22 | 566,30 | 566,33 | 566,28 | 566,23 | 566,22 | 566,37 | 566,38 | 566,56 |
| 2e » | 567,29 | 567,44 | 567,67 | 567,65 | 567,65 | 567,69 | 567,91 | 568,23 | 568,58 |
| 3e » | 567,97 | 568,04 | 568,21 | 568,13 | 568,04 | 567,89 | 568,08 | 568,34 | 568,47 |
| Mois | 567,10 | 567,21 | 567,34 | 567,30 | 567,26 | 567,22 | 567,41 | 567,60 | 567,83 |
| **Température.** | | | | | | | | | |
| | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° |
| 1re décade | — 7,00 | — 6,75 | — 4,98 | — 2,29 | — 2,72 | — 3,87 | — 6,34 | — 6,00 | — 6,09 |
| 2e » | — 5,46 | — 4,86 | — 3,50 | — 1,83 | — 2,00 | — 3,57 | — 4,82 | — 5,44 | — 5,47 |
| 3e » | — 5,96 | — 4,84 | — 3,03 | — 2,07 | — 1,20 | — 2,12 | — 4,16 | — 4,73 | — 4,79 |
| Mois | — 6,15 | — 5,53 | — 3,89 | — 2,06 | — 2,03 | — 3,26 | — 5,17 | — 5,44 | — 5,50 |

| | Min. observé. | Max. observé. | Clarté moyenne du ciel. | Eau de pluie ou de neige. | Hauteur de la neige tombée. |
|---|---|---|---|---|---|
| | ° | ° | | mm | mm |
| 1re décade | — 7,57 | — 1,97 | 0,04 | — | — |
| 2e » | — 6,24 | — 1,64 | 0,38 | 4,6 | 70 |
| 3e » | — 6,19 | — 1,13 | 0,57 | 15,4 | 220 |
| Mois | — 6,70 | — 1,61 | 0,31 | 20,0 | 290 |

Dans ce mois, l'air a été calme 0,00 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 9,48 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 45° E., et son intensité est égale à 90,9 sur 100.

Fig. 5.

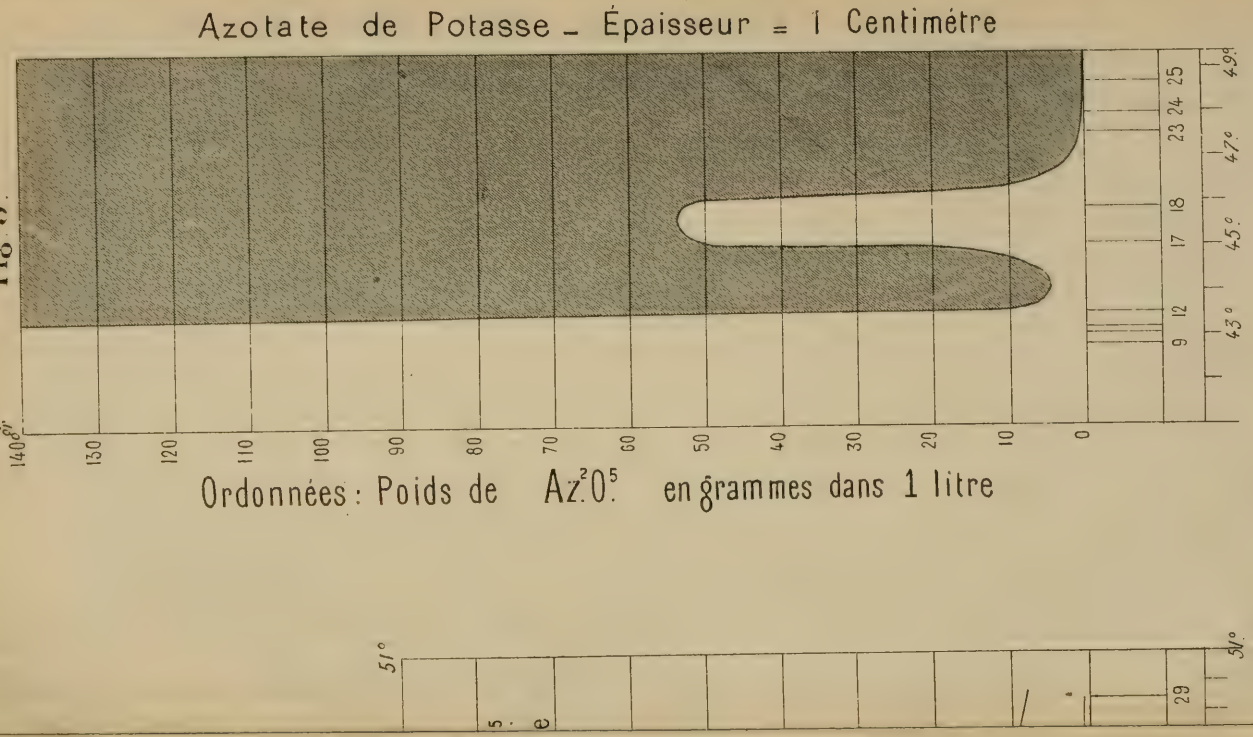

Azotate de Potasse _ Épaisseur = 1 Centimètre
140gr
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
9 12
17 18
23 24 25
29
43°
45°
47°
49°
51°
Ordonnées : Poids de $Az^2O^5$ en grammes dans 1 litre

Fig. 1

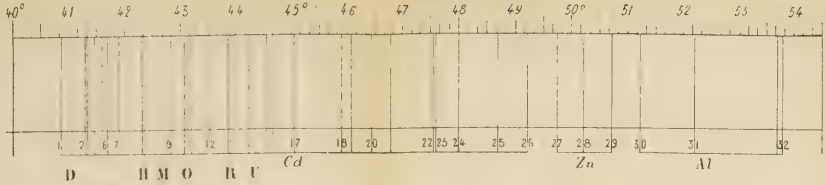



Fig. 2

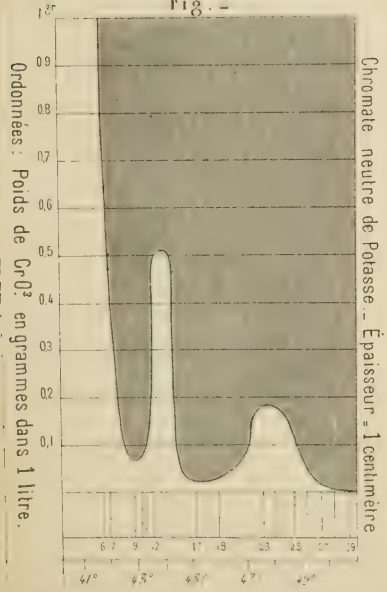



Fig. 4.

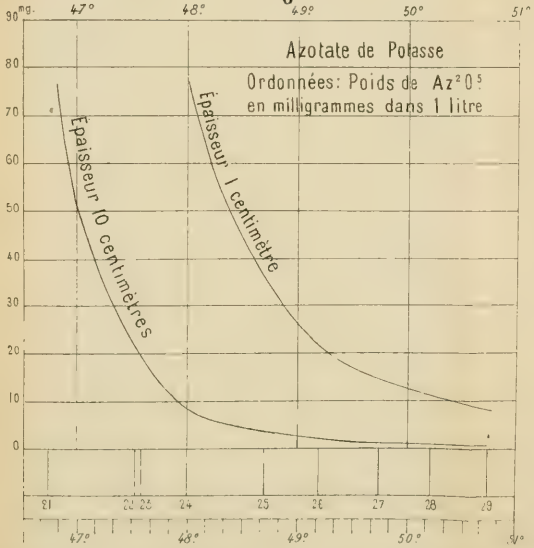
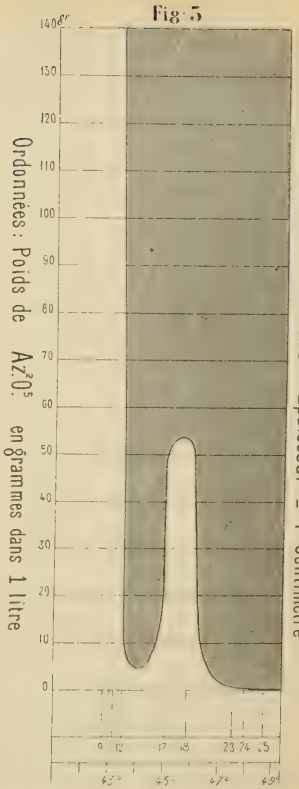



Fig. 5



**BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE**

ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

---

# TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME LXI (NOUVELLE PÉRIODE)

1878. — N^os 241 à 243.

---

Pages

Sur l'existence des races physiologiques dans les espèces végétales à l'état spontané, par M. *Alph. de Candolle*. . . . . 5

Mémoire sur la liquéfaction de l'oxygène, la liquéfaction et la solidification de l'hydrogène et sur les théories des changements d'état des corps, par M. *Raoul Pictet*. . . . . 16

Indices de réfraction ordinaires et extraordinaires du quartz pour les rayons de différentes longueurs d'onde jusqu'à l'extrême ultra-violet, par M. *Édouard Sarasin*. . . . . 109

Revue géologique suisse pour l'année 1877, par M. *Ernest Favre*. . . . . 153

Recherches faites dans le laboratoire de physiologie de Genève. VII. Sur les nerfs dits arrestateurs, par M. le prof. *Schiff*. 2. L'irritaton négative. . . 234

Sur le Terbium et ses composés et sur l'existence probable d'un nouveau métal dans la Samarskite de la Caroline du Nord, par M. *Marc Delafontaine* (1^er mémoire). . . . . 273

Sur les terres de la Gadolinite, par M. *C. Marignac*. 283

Pages

Transformation des hydrocarbures bromés de la série de l'éthylène en bromures d'acide de la série grasse par simple addition d'oxygène, par M. *E. Demole* . . . . . 296

Sur les fiords et les glaciers du Groënland septentrional, par M. *A. Helland* . . . . . 305

Recherches sur l'absorption des rayons ultra-violets par diverses substances, par M. *J.-L. Soret* . . . 322

---

# BULLETIN SCIENTIFIQUE

## ASTRONOMIE.

*Raoul Gautier*. Détermination de l'orbite de la Comète IV, 1873 . . . . . 360

## PHYSIQUE.

*Du Bois-Reymond*. Sur le téléphone . . . . . 120

*E. Yung*. Études sur les poussières cosmiques . . . . . 252

## CHIMIE.

*F. Kraft*. Distillation de l'huile de ricin sous faibles pressions . . . . . 124

*R. Fittig*. Traité de chimie organique, d'après Wöhler (trad. par H. de la Harpe et Fr. Reverdin) . . . . . 255

*Th. Dietl* et *V. Mertz*. Dérivés de la Naphtoquinone . . . . 258

*V. Meyer*. Détermination de la densité des vapeurs . . . 258

*M. Knecht*. Poids moléculaires de quelques combinaisons . . . . . 258

*V. Meyer*. Introduction de radicaux azotés dans les corps de la série grasse . . . . . 259

Pages

*W. Michler* et *V. Hanhardt.* Sur l'acide diméthylamidophénylglyoxalique. . . . . 362
*J. Zublin.* Sur l'isonitrobutane primaire . . . . . 362
*H. Brunner* et *R. Brandenburg.* Action de Na sur le protochlorure du chlorure d'éthylène . . . . . 363
*W. Michler* et *Gradmann.* Sur la diméthylaniline . . . 363
*Th. Diehl.* Dérivés de l'anthracène . . . . . 364

## ZOOLOGIE, ANATOMIE ET PALÉONTOLOGIE.

Revue des travaux sur le pourpre de la rétine : *F. Boll.* Anatomie et physiologie de la rétine. — *Le même.* Communication à l'Académie de Berlin. — *Le même.* Divers articles dans le Centralblatt. — *Kuhne.* Le pourpre visuel. — *Le même.* Nouvelles observations sur le pourpre visuel de l'homme. — *Le même.* Divers articles sur l'optographie et le pourpre rétinien dans le Centralblatt. — *A. Ewald* et *W. Kuhne.* Recherches sur le pourpre visuel. — *Stefano Capranica.* Études chimico-physiologiques sur les matières colorantes de la rétine. — *Helfreich.* Communications ophthalmoscopiques sur le pourpre de la rétine. — *Adler.* Pourpre visuel dans l'œil humain malade ou blessé. — *Schenk* et *Zuckerkandl.* Pourpre visuel dans l'œil d'un pendu. — *Fuchs.* Couleur de la rétine. — *Dietl* et *Plenk.* Visibilité du rouge visuel à l'ophthalmoscope. — *Schmidt-Rimpler.* Rouge visuel chez un amaurotique. — *Michel.* Contribution à la connaissance du rouge visuel. — *O. Becker.* De la visibilité ophthalmoscopique du rouge visuel. — v. *Bezold* et *Engelhardt.* Fluorescence de la rétine. . 125
*Le Conte.* Quelques réflexions sur la fonction glycogénique du foie et sur ses relations avec la force vitale de la chaleur animale . . . . . 365
*A. Agassiz.* Développement de la queue chez les poissons . . . . . 368

## BOTANIQUE.

Pages

*Vivien-Morel.* Rapport sur le jardin expérimental de M. Jordan . . . . . 260

*Dr Louis Bouvier.* Flore des Alpes de la Suisse et de la Savoie . . . . . 372

---

## OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

faites à Genève et au Grand Saint-Bernard

Observations météorologiques du mois de décembre 1877 . . . . . 145

Observations météorologiques du mois de janvier 1878. 265

Observations météorologiques pendant le mois de février . . . . . 373

---

New York Botanical Garden Library
3 5185 00274 2979